

وزارة الري

المجلة العلمية للموارد المائية

الزلازل وتأثيرها في لسدود الركامية



نصرة نجيب دمو

الزلازل  
وتأثيراتها في السدود الركامية  
EARTHQUAKES AND THEIR EFFECT ON  
EMBANKMENT DAMS

تأليف

By:

Nasrat N. Adamo, MSc.

Chief Engineer

State Organization for Dams

Ministry of Irrigation

لمصر نجيب ادمو

رئيس مهندسين

المؤسسة العامة للسدود

وزارة الري

مراجعة

Revised by:

Khalid J. Fahmi, Ph.D.

Head, Seismology Unit

Building Research Center

Scientific Research Council

الدكتور خالد جهاد فهمي

رئيس وحدة الرصد الزلزالي

مركز بحوث البناء

مجلس البحث العلمي

كلمة سكرتارية هيئة التحوير

على الرغم من أن السجل الانساني قد زخر بانجازات العرب في حقل الموارد المائية وسجل لهم أعمالهم ودراساتهم المعروفة خلال عصور التاريخ المختلفة ، نجد أن المكتبة العربية الحديثة لازالت تقتصر نسبيا الى المؤلفات التي توازي ما جرى وما يجري من مشاريع وأبحاث في هذا المجال في وطننا العربي . ومن هذا المنطلق دأبت اللجنة الوطنية العراقية للبرنامج الهيدرولوجي الدولي العمل على تخطيط الضوء على جزء من البحوث والمشاريع الجارية في وطننا العربي .

عددنا الخاص هذا يمثل أحد المؤلفات المتواضعة التي ترغب اللجنة في وضعها بمقتول القاري للاستفادة منها ، وهنا تجدر الاشارة الى الدعم المتواصل والتشجيع المستمر الذي تلقاه من الاستاذ عبد الوهاب محمود وزير الري ورئيس اللجنة الوطنية العراقية للبرنامج الهيدرولوجي الدولي في انجاز مثل هذه المطبوعات .

بهذه المناسبة ، ندعو كافة الباحثين والعاملين في مجال الموارد المائية لتزويدنا بما لديهم من نتائج علمي لوضعها في متناول القراء للاستفادة منه . وفائق الله الجميع .

د . نضير الانصاري

الألف

## Presentation

أمدى هذا العمل المتواضع لسيادة وزير الري الأستاذ عبدالوهاب محمود  
عبد الله لا تاحة الفرصة النادرة لي بمتابعة آخر التطورات العلمية في تصاميم السدود  
العالية من خلال عطفي مع مجالس الخبراء العالميين ، حيث قعنا ولا زلنا نقوم  
بدراسات وتصاميم وتدقيق تنفيذ العديد من السدود المهمة في قطري  
العزير ، اضافة الى ما هو معروف عن سيادته من تشجيع وتكريم  
للباحثين . مما جعل من وزارة الري قدوة تحتذى في ذلك ، وفي التمسك  
بترجيحات القيادة السياسية في هذا المضمار وصولا الى بناء العراق القادر  
العزير والمزدهر .



الصفحة Page	المحتوى	الصفحة
1	الزلازل وخواصها	الباب الأول -
2	هذه تاريخية	١٠١
2	الزلازل : أسبابها وتأثيراتها	١٠٢
3	مقاييس الزلازل	١٠٣
11	كيفية تحديد بؤرة الزلازل	١٠٤
13	العوجات الزلزالية	١٠٥
14	الهزات الثانوية	١٠٦
15	الهزات الأرضية والتجويرات	١٠٧
15	الطرق الاحصائية المستعملة في دراسة الهزات الأرضية	١٠٨
16	علاقة المقدار - التكرار ونموذج بواسون	١٠٨٠١
20	نموذج كلوندايك	١٠٨٠٢
22	الفعالية الزلزالية للعراق وعلاقة المقدار - التكرار	١٠٨٠٣
27	نظرية القيم القصوى وتوزيع مكبل	١٠٨٠٤
31	التوزيعات التقاربية لمقادير الهزات الأرضية القصوى في العراق	١٠٨٠٥
33	تقدير الحركات السطحية للهزات الأرضية	١٠٩
37	التأثيرات الفعلية على السدود والمنحدرات	الباب الثاني -
38	المقدمة	٢٠١
38	الخطورة الزلزالية وعلاقتها بتصميم السدود	٢٠٢
43	دراسات الخطورة الزلزالية في العراق	٢٠٣
43	تأثيرات الزلازل على السدود القائمة	٢٠٤
48	أمثلة من تأثيرات الزلازل على السدود الركابية	٢٠٥
62	التمهيع	٢٠٦
67	الطرق التحليلية في تصميم السدود الركابية بالنسبة للزلازل	الباب الثالث -
68	المقدمة	٣٠١
72	التحليل الشبه ستاتيكي - استعمال القواعد التجريبية	٣٠٢
76	التحليل الشبه ستاتيكي - افتراض تجاوب السد للهزة	٣٠٣
	كتجاوب الاجسام الجاسئة	

## الصفحة

77	التحليل الشبه سياتيكي - الاستجابة للزجة - المربطة	٣٠٤
103	التحليل الديناميكي - بصورة عامة	٣٠٥
108	التحليل الديناميكي - خواص المواد	٣٠٦
111	التحليل الديناميكي - نمذجة الحالة الاهتزازية	٣٠٧
114	المصطلحات .....	
120	المصادر المستخدمة في البحث .....	

- (١) تغير التمجيد الاقصى للحركة الارضية مع البعد عن الفالق •
- (٢) خارطة التوزيع المحسوب لشدة الهزات الارضية في العراق •
- (٣) علاقة التكرار - المقدار للهزات الارضية •
- (٤) خارطة توزيع بؤر الهزات الارضية في العراق •
- (٥) منطقة التضاريس في شمال وشمال شرق العراق مع مواقع بؤر الزلازل المهمة •
- (٦) المنطقة المدروسة من قبل توشيج في شمال وشمال شرق العراق •
- (٧) التوزيعات التقاربية للهزات الارضية القصوى في العراق مرتبطة على مقياس لوغاريتم مضاف وقدرة بطريقة المربعات الصغرى •
- (٨) دراسة الخطورة الزلزالية لموقع معين بسبب الهزات الارضية في المنطقة المحيطة
- (٩) دراسة فشل سد شيفيلد نتيجة للتصنيع •
- (١٠) سد اوروفيل - مواد البناء المستخدمة ومواقع اجهزة المراقبة •
- (١١) التصنيع الجزئي والتصنيع الكلي لعينات من التربة العروضة وغير العروضة المشبعة نتيجة تحليلها جهود قصية دورية متكررة •
- (١٢) الانزلاقات المحتطة في السدود نتيجة الهزة الارضية •
- (١٣) خارطة الاحتمالات الزلزالية للولايات المتحدة الامريكية •
- (١٤) خارطة الاحتمالات الزلزالية لليابان •
- (١٥) توزيع المعامل الزلزالي حسب ارتفاع السد •
- (١٦) منظومة مربية بسيطة مع خامد لزج ( ذات درجة حرية واحدة ) •
- (١٧) نموذج لذراع القصب واطوار اهتزازه ( منظومة ذات عدة درجات من الحرية ) •
- (١٨) طيف المعامل الزلزالي لقمة السد بموجب طريقة هاتناكا •
- (١٩) تغير المعامل الزلزالي نسبة لارتفاع السد بموجب طريقة هاتناكا •
- (٢٠) منحنيات طيف معدل التعجيل لهاسنر •
- (٢١) طريقة امريزي للتحليل اللزج - العرن •
- (٢٢) منحنيات لاستخواجه المعامل الزلزالي حسب طريقة امريزي •
- (٢٣) تغير المعامل الزلزالي حسب ارتفاع السد للمثال في الجدول ( ١٤ ) •
- (٢٤) تغير التعجيل الارضي المسجل في نقاط مختطفة في جسم سد كسنياما في اليابان •
- (٢٥) تغير نسبة التكبير للمركبة الشمالية / الجنوبية في هزة الستروم مع فترة التردد للطول الاساسي ( بمعامل اخمداد ١٠٪ ) •
- (٢٦) تغير نسبة التكبير للمركبة الشمالية / الجنوبية في هزة الستروم مع فترة التردد للطول الاساسي ( بمعامل اخمداد ٢٠٪ ) •

## تتمة قائمة الاشكال :

- (٢٧) تخيير نسبة التكبير للمركبة الشمالية / الجنوبية في هزة السنترو مع فترة التردد للظهور الاساسي ( بمعامل اخماد ٤٠ % ) •
- (٢٨) معدل طيف التكبير ( بمعامل اخماد ٢٠ % ) •
- (٢٩) منحنيات تصحيح القيم لمعاملات الاخماد المختلفة للشكل ( ٢٨ ) •
- (٣٠) حالة الانزلاق للكطبة مارة بقمة السد وقاعدتها في مستوى فوق مستوى الاسس •
- (٣١) معدل المعامل الزلزالي الاي ( معامل اخماد ٢٠ % ) •
- (٣٢) منحنيات تصحيح القيم لمعاملات الاخماد المختلفة للشكل ( ٣١ ) •
- (٣٣) الحالة العامة للانزلاق •
- (٣٤) تخيير معدل المعامل الزلزالي الاي للكطبة المنزلقة مع فترة التردد الاساسي •
- (٣٥) علاقة الجهد - الاجهاد تحت تأثير النهض والتناوب بالجهد •
- (٣٦) شبكة القطع المحددة لقطع سد •
- (٣٧) نماذج الهزات الارضية لتصميم السدود بأسلوب التحليل الديناميكي •



Tables

الجدول

- (١) مقياس ميوكالي المعدل •
- (٢) مقياس الشدة الياباني •
- (٣) الحدوث الدوري المشاهد والمقدر بطريقة المربعات الصخرى لعقادي الزلازل القصوى في العراق •
- (٤) القيم الثابتة لاهم معادلات التوهين المطبقة في العالم في الوقت الحاضر •
- (٥) التعجيل الارضي الاقصى المحتمل في شمال شرق العراق لعمر اقتصادي ٢٠ سنة •
- (٦) التعجيل الارضي الاقصى المحتمل في شمال شرق العراق لعمر اقتصادي ٥٠ سنة •
- (٧) التعجيل الارضي الاقصى المحتمل في شمال شرق العراق لعمر اقتصادي ١٠٠ سنة •
- (٨) خلاصة بالسدود التي تمت دراسة تأثيرات الزلازل عليها •
- (٩) الاضرار الناجمة عن الهزات في السدود المذكورة في الجدول ( ٨ ) •
- (١٠) الاضرار التي أصابت السدود في زلزال ١٩٣٩ •
- (١١) قيم المعامل الزلزالي في المناسيب المختلفة للسد •
- (١٢) قيم  $a_H$  لاطوار الحركة بازدياد المعامل الزلزالي حسب المعادلة (52) •
- (١٣) قيم معامل التكبير نسبة لمعامل الاختلاف •
- (١٤) مثال يوضح طريقة امبريزي لاحتساب المعامل الزلزالي لمناسيب مختلفة من السد •
- (١٥) خواص المواد البدائية •
- (١٦) خواص المواد الديناميكية •
- (١٧) خواص الهزات النموذجية المستخدمة في التحليل الديناميكي •

تميزت الخمسون سنة الاخيرة بنشاط كبير لبناء السدود في كافة بقاع الارض • وكان ذلك منبعا من الحاجة الى تطوير وصيانة مصادر المياه وترويض الانهار بقصد القضاء على مخاطر الفيضانات المدمرة من جهة وتأمين متطلبات الزراعة من مياه الري لتوفير الغذاء للاعداد المتزايدة من السكان من الجهة الاخرى • ناهيك عن توفير احتياجات الصناعة المتعاظم للطاقة الكهربائية وحاجة فروع الاقتصاد الاخرى لهذه الطاقة المحركة • وكما هو معلوم فإن السدود الكونكرتية يتطلب انشاؤها أساسا غاية في المتانة وقوة التحمل • لذا وباستنفاد العراق ذات الصفات هذه كان لابد من التوجه المتزايد نحو انشاء السدود الركامية • ومعلوم ايضا بأنه يمكن لهذه الاخيرة أن تبني في مواقع أضعف وأقل تحملا •

ان هذا الاتجاه قد وضع على المهندسين والمصممين مسؤولية كبيرة لتطوير فروع هندسية جديدة • فكان التطور الواسع في فروع ميكانيك التربة وميكانيك الصخور والجيولوجيا والسيزمولوجيا وغيرها من فروع الهندسة الجيوتكنيكية • ويزداد الحاجة الى سدود أعلى وخزانات أكبر زاد التحدي وزاد التطور •

ان ما يهمنا في موضوع هذا البحث هو تأثير الزلازل على تصاميم السدود الركامية وتطور الدراسات والبحوث في هذا الحقل • فلقد شهدت دراسات الزلازل ( علم السيزمولوجيا ) بصورة عامة وتأثيراتها على المنشآت بصورة خاصة جهدا علميا وتطبيقيا مكثفا من خلال البحوث في مراكز الابحاث والجامعات والمؤتمرات والندوات العلمية والمهنية العالمية • لذا يمكن القول بتوفر خبرة واسعة جدا في هذا الباب ويتركز جزءا كبيرا من هذه الخبرة في مجال تصاميم وانشاء السدود الركامية •

ان التقرير الواضح في المكتبة العربية فيما يتعلق بالكتابات الهندسية بوجه عام وما يخص هذا الموضوع بالذات قد قادني الى التفكير في امكانية المساهمة بجهد متواضع لتقديم بعض ما متوفر من هذه المعلومات وباللغة العربية •

ما تقدم يمكنني القول بأن الهدف من هذا البحث ذو شقين : أولهما جمع المعلومات الرئيسية في اتجاه يخدم مهندسي ومصممي السدود ، وكذلك الدارسين في هذا المجال • أما ثانيهما فهو محاولة تعريب العديد من المصطلحات الهندسية الخاصة بهذا الحقل •

لقد كان لزاما علي لتففيذ الشق الأول من تحقيق العديد من البحوث ومقارنتها بعضها مع البعض الاخر وابداء الرأي بعدى الدقة أو الملائمة وعلى ضوء التجربة العملية • وفي هذا كثيرا ما وجدت تناقض في بعض الاستنتاجات أو الاجتهادات فكان لابد من عملية الغريلة واستخلاص الفيد وطرح الباقي جانبها • كما علمت أن تكون المعلومات والبيانات عامة متجنبنا ذكر الخصوصيات بالنسبة للسدود العراقية مع ما لهذه الخصوصيات من أهمية بالغة احيانا مكثفا بما منشور فعلا من خلال المؤتمرات والندوات العلمية العالمية •

أما لتحقيق الشق الثاني وهو التعريب فقد واجهتني في ذلك صعوبات كبيرة • وقد حاولت أن أنتهج ترجمة المعنى وليس النص الحرفي • ونقاديا للالتباس فقد وضعت النص الانكليزي تجاه المصطلحات المعربة مع جمع هذه المصطلحات بحسب الحروف الهجائية في جدول ملحق لسهولة الرجوع اليها اذا ما دعت الحاجة • وقد أكون قد وفقت لتحقيق هذا المطلب بعض الشيء • أو قد أكون فشلت • وأترك للقارى الكريم أن يسامحني حيثما لم يتفق معي واللّه من وراء القصد •

وبعد ، فإن البحث مقسم الى ثلاثة أبواب • يبحث ( الأول ) في خواص الزلازل وطرق قياسها وحساباتها ويركز على موضوع التأثيرات الحركية السطحية للهزات ، حيث ان الدمار أو التخريب المحتملين في السدود أو المنحدرات الطبيعية معبثهما هذه التأثيرات • أما ( الباب الثاني ) فقد احتوى على جمع وتحليل حالات فشل عديدة للسدود نتيجة هزات أرضية • وفي هذا حاولت أن يكون التحليل باتجاه استخلاص قواعد تغيد المهندس المنفذ والمهندس المصمم للحصول على سدود ذات مقاومة أكبر لتأثيرات الزلازل المدمرة • ويركز هذا الباب أيضا على موضوع تطبيقي الا وهو ( الخطورة الزلزالية ) • ولي في ذلك رأى واضح نظرا لأهمية هذا الموضوع الكبيرة في فلسفة تصاميم السدود ولا أهميته في جوانب تطبيقية أخرى كالتأمين الهندسي •

وقد أنصب البحث في ( الباب الثالث ) على تتبع التطور في أساليب التفكير والتحليل الهندسيين في ملاقة تأثيرات الزلازل وكيفية ادخال متغيراتها ضمن حسابات درجة امان وسلامة السدود •

وهذا لا بد لي من ذكر شي مهم وهو بأنني قد أغفلت وعن عمد وسابق قصد جوانب أخرى من العلاقة بين ( الزلازل والسدود ) وكان هدفي عدم جعل البحث جامد المادة وكثير التعقيد • وعلى أمل العودة ربما مستقبلا للتطرق الى هذه الجوانب في بحوث أخرى وربما أيضا من قبل باحثين آخرين أكثر مني تضلعا فيها • ومن هذه الجوانب ، تأثيرات الخزانات الكبيرة في احداث الزلازل ، طرق قياس وتسجيل الزلازل ومتغيراتها في السدود ، اضافة الى دراسات نمذجة الزلازل المسجلة فعلا لاغراض تصاميم السدود ، وبرامج الحاسبة الالكترونية المستخدمة في التحليل •

ختاما ، أمني كبير أن يكون في هذا البحث بعض من الفائدة المرجوة لخواني المهندسين والباحثين واللّه ولي التوفيق •

الباب الأول

الزلازل وخصائصها

PART ONE

EARTHQUAKE CHARACTERISTICS



ارتبطت بأذهان الناس ومنذ القدم مسببات الزلازل مع فكرة وجود اجهادات داخلية في باطن الارض • ونرى ذلك واضحاً في نظرية أرسطو عن الزلازل ، غير أن القرون الوسطى شهدت هدلاً في هذا التفكير ، حيث وضع اللاهوتيون حداً للافتراضات والتكهنات وتم اعتناق نظرية ( غضب الله ) كسبب للكوارث الطبيعية ومنها الزلازل • وكانت لهذه النظرية جذورها في التوراة • فقد يكون خراب ( سادوم ) و ( عامورة ) وسقوط ( جرش ) من الامثلة الاولى للفعالية الزلزالية ( Seismic Activity ) في وادي الاردن • وهكذا نرى بأن تفسير مسببات الزلازل المستند على الطبيعة قد تم تحريمه من قبل الكنيسة خلال القرن الخامس الميلادي واعتبر ذلك شكلاً من أشكال الهرطقة • غير أن الصيبيسن خلال الفترة نفسها كانوا قد طوروا أنظمة معقدة لرصد الزلازل في أنحاء الامبراطورية • وقد كان سبب هذا الاهتمام الرسمي بموضوع الزلازل هو الاعتقاد بأن الزلازل تؤثر وتخيبات وشيكة الوقوع في جهاز الدولة • فقد اخترع جان هينغ ( ٦٨ م - ١٣٩ م ) الفلكي في بلاط الخان أول جهاز لتسجيل الهزات الارضية ( Seismograph ) مستنداً على فكرة عمل البندول • هذا وقد أظهرت الاكتشافات اللاحقة مؤخراً في بعض عواصم الاقاليم عن وجود سجلات لهذه الهزات بما يحتفظ بتاريخ زلزالي حافل للصين لمدة ( ٢٠٠٠ ) سنة • كما تم اكتشاف سجلات مماثلة في اليابان يرجع عهدها الى سنة ( ٥٩٩ م ) • أما في الأماكن الأخرى من العالم فلم يحض تسجيل الزلازل بمثل هذا الاهتمام • فعلى الرغم من أن النظرية الخاصة بباطن الارض أخذت تجتذب اهتمام أفضل العلماء في زمنهم أمثال لابلاس ( Laplace ) ، وبواسون ( Poisson ) ولاميه ( Lamé ) وريلي ( Rayleigh ) وآخرين ، إلا أن علم الزلازل المبني على الملاحظة والتسجيل لم يبدأ إلا في بداية القرن الحالي ، حيث تم صنع عدد من أجهزة رصد الهزات ( Seismometer ) البسيطة • ويوجد الآن ما لا يقل عن ( ١٠٠٠ ) محطة رصد زلزالية منتشرة في أنحاء العالم باستطاعتها تسجيل وتحديد وفهرسة الهزات الارضية التي يزيد مقدارها عن ( ٤ ر ٥ ) درجات •

## ١٠٢ الزلازل : أسبابها وتأثيراتها : (Earthquake Occurrence: Causes and Effects)

يرى التفسير الحديث للزلازل بأن مكونات باطن الارض أبعد ما تكون عن الاستقرار وأن هناك وفي هذه المكونات حركة مستمرة • وينجم عن هذه الحركة تسليط ضغوط وقوى شديدة على طبقات الصخور التي تقع ضمن مجالها • وعندما تصل هذه القوى حداً ليس بإمكان الصخور تحمله ، فعندئذ تبدأ بالتشقق ويتم تحرير الطاقة بصورة مفاجئة وسريعة ويكون جزء من الطاقة المتحررة بشكل موجات تسبب اهتزاز الارض • كما أن من أثارها أيضاً حصول الفوالق الارضية • ومن هذه الفوالق ما يكون صغيراً لا يتجاوز طوله عدة أمتار ومنها ما يكون كبيراً جداً يصل طوله الى مئات الكيلومترات وتعتبر هذه الفوالق الشواهد التاريخية على وقوع الهزات الارضية خلال الحقب الجيولوجية المختلفة من عمر الارض •

ان التدمير والتخريب الذي ينتج عن الهزات الارضية انما يحصل من العوجات المتولدة والتي  
أشربا اليها • وتعتمد نسبة التدمير على طاقة العوجات الزلزالية ومن المعروف عن الزلازل بان ليس  
لحدوثها أماكن معينة وثابتة ، بل أنها يمكن أن تحدث في أى بقعة من بقاع الكرة الارضية • وان كثرة  
وقوعها في مناطق معينة انما بسبب وقوع هذه المناطق ضمن مناطق اجهادات معروفة في القشرة  
الارضية • كما أن ليس لحدوث الزلازل أوقات معينة أو تكرارات ثابتة وان كانت هناك محاولات احصائية  
كثيرة للتنبؤ بوقوع هذه الزلازل • غير أن هذه المحاولات تبقى غير مجدية طالما ان هناك ولا يزال  
المزيد من المعلومات الواجب معرفتها عن طبيعة الزلازل •

## (Earthquake Scales)

## ١٠٢ مقاييس الزلازل

يعرف أى زلزال عادة بوقع حدوثه ( خط العرض ، خط الطول ، العمق ) ، وكذلك زمن وقوعه  
والطاقة المتحررة عنه ، وحيث أن من الصعب جدا قياس كمية الطاقة هذه فقد تم اعتماد عدد من  
المقاييس لقياس حجم الزلازل • ولا بد من القول بان أى من هذه المقاييس لا يعطي وصفا كاملا وشاملا  
لجميع خواص الزلازل • فهناك القياس الشائع والمعروف بقياس ريختر ( Richter ) نسبة  
الى العالم الذي وضعه ويقوم هذا القياس بمقدار الزلزال ( Magnitude ) ويمثل هذا المقدار  
بالحرف ( M ) • ويتم احتساب مقدار الزلزال من لوغاريتم سعة أكبر العوجات الزلزالية  
( log Maximum Amplitude of Seismic Waves ) وبما أن هناك عدة أنواع من العوجات  
الزلزالية التي يمكن التقاطها وبالتالي تسجيلها على السجل الزلزالي ( Seismogram ) ( او مجموعة  
الخطوط البيانية المتواصلة والمتغايرة انحنائها زمنيا والتي ترسم التاريخ الزمني القصير نسبيا لتكسر  
القشرة الارضية عند حدوث الزلزال ) ، لذلك وجد العالم ريختر بأنه بالامكان وصف الطاقة المتحررة  
( والتي تتناسب مع سعة الموجة المسجلة ) من خلال قياس العوجات القصيرة أو المستعرضة  
( Shear or Transverse S-Waves ) ، وحيث أن الطاقة الحركية المتحررة من حدوث الزلزال  
تتناسب تناسباً طردياً مع سعة العوجات الزلزالية المسجلة فهي بالتالي لها علاقة طردية مباشرة بمقدار  
الزلزال ، وعلى هذا الاساس فقد تم التوصل الى العلاقة التالية بين مقدار الزلزال ( M ) والطاقة  
المتحررة ( E ) : —

$$\log_{10}(E) = 1.5 M + 11.4 \quad \dots(1)$$

واحيانا تكتب هذه المعادلة بالشكل التالي : —

$$\log_{10}(E) = 1.7 M + 10 \quad \dots(2)$$

وتكون ( E ) المحسوبة من هذه المعادلتين مقدرة ( بالارك ) •

ان أكبر أو أقوى زلزال مسجل بلغ مقداره ( ٨.٩ ) درجة على مقياس ريختر ( ويقابل هذا طاقة  
متحررة قدرها  $10^{20}$  أرك ) • لذا فقد تكون مقياس ريختر من ( ٩ ) درجات •• هذا وتجدر الاشارة

هذا الى أن قياس ويختار يستخدم للزلازل الموقعية (Local) أو القريبة (Regional) بشرط أن لا يكون مصدرها عن نقطة الرصد أبعد من ١٠٠ كم • من جهة أخرى وفي حالة رصد الزلازل الكبيرة والبعيدة المصدر (Teleseismic) يتم استخدام قياس آخر يسمى بقياس العوجات الجسمية (Body Wave Magnitude) والذي يستند على قياس سعة العوجات الزلزالية الانضغاطية أو الطولية (Compressional or Longitudinal P-Waves) • ومن الممكن ربط القياسين انفي الذكر بالمعادلة التقريبية التالية (Marshall, 1970) :

$$M = 2.08 m - 5.65$$

...(3)

ان سعة العوجات الزلزالية المسجلة تنهاين من محطة رصد الى محطة رصد أخرى ويعتمد ذلك على زاوية السمعة للمحطة (Azimuth) وعلى شكل انبعثات العوجات (Radiation Pattern) من المصدر • وبذلك تختلف القوة المسجلة للزلازل باختلاف جهة محطة الرصد من المسقط السطحي لبؤرة الزلزال أو البؤرة السطحية (Epicenter) ويعتمد معدل الرصودات لعدة محطات رصد على التوزيع الجغرافي لهذه المحطات والتي يمكن من خلالها تعيين موقع الزلزال (Location) حسابيا •

وهناك قياس ثاني لحجم الهزات الارضية يعرف بالعزم الزلزالي (Seismic Moment) ويرمز له ( $M_0$ ) وقد وضعه العالم الياباني اكي (Aki, 1966) (١٩٦٦) ويعتمد هذا القياس على ميكانيكية التكسرفي بؤرة الهزة • ويتم تقديره باحتساب معدل مساحة الازاحة أو الزحف الناتج على سطح التكسر (Average Area of Fault Slip) بالاعتماد على معامل القص (Shear Modulus) في الوسط المتكسر • ويلاحظ في الهزات الضحلة بأن هناك تطابق جيد بين (عزم الزلزال و مقدار الزلزال) أما بالنسبة للهزات العميقة فأنا العلاقة بين القياسين كالتالي : —

$$\log_{10}(M_0) = M + 19.9$$

...(4)

ويقاس ( $M_0$ ) في هذه المعادلة بـ (الدائنين • سنتيمتر)

اما مقدار الارتجاج والاهتزاز (Shaking) على سطح الارض فيقاس بواسطة قياس وصفي يعرف بقياس الشدة الناتجة عن الزلزال (Intensity Scale) • وهناك عدد من قياسات الشدة اشتهر بها قياس ميركالي المعدل (Modified Mercalli Scale) المتكون من (١٢) درجة • ويرمز للشدة حسب هذا القياس (I) • هذا ويمكن تقدير شدة الزلزال حسب هذا القياس بسهولة من قبل أي راصد ذو خبرة حسب العواشوات الواردة في الجدول رقم (١) التالي : —

## جدول رقم ( ١ ) قياس ميركالي المعدل

درجة الشدة	التأثيرات
١	لا يشعر بها الا عدد قليل جدا من الناس وتحت ظروف خاصة • تسجل بواسطة المزموغراف • لا توهترفي الأبنية الضعيفة • لا توهترفي الأبنية القوية •
٢	يشعر بها عدد قليل من الناس وفي حالة السكون • لا توهترفي الأبنية الضعيفة • لا توهترفي الأبنية القوية • تتأرجح الاجسام الرقيقة المسلقة كالصور •
٣	يشعر بها بصورة واضحة الاشخاص داخل البنايات • كما قد تتأرجح العربات السائكة • لا توهترفي الأبنية الضعيفة • لا توهترفي الأبنية القوية • بالامكان قياس الفترة الزمنية التي تستغرقها الهزة • تعادل مقدار هزة مقدارها ( ٨ ر ٣ ) درجة على مقياس ريختر •
٤	يشعر بها الجميع داخل البنايات ويستيقظ النائمون • لا توهترفي الأبنية الضعيفة • لا توهترفي الأبنية القوية • تتأرجح العربات ويسمع صرير الشبابيك والأبواب • تعادل مقدار هزة مقدارها ( ٣ ر ٤ ) درجة على مقياس ريختر •
٥	يشعر بها الجميع • تسقط بعض طلائع الجدران • لا توهترفي الأبنية القوية • تتسمر الاواني وزجاج النوافذ وتتوقف الساعات اليدوية عن العمل •



درجۃ الشدة	التأثيرات
٦	<ul style="list-style-type: none"> <li>يشعر بها الجميع ويكون الكثير منهم في حالة هلع وخوف</li> <li>تهدم المداخل وتسقط طلائع الجدران</li> <li>لا تؤثر في الأبنية القوية</li> <li>تتحرك الاثاث من اماكنها وتقلب بعض الحاجيات</li> <li>تعادل هزة أرضية مقدار ( ٣ و ٥ ) درجة على مقياس ريختر</li> </ul>
٧	<ul style="list-style-type: none"> <li>يهرب الجميع خارج البنايات ويشعر بها الناس داخل العربات المتحركة</li> <li>تحصل تدميرات متوسطة للمباني الضعيفة</li> <li>لا تتأثر الأبنية القوية</li> <li>يمكن ملاحظة ارتفاع الموج في البرك والبحيرات وتحصل انهيارات على ضفاف الانهيا</li> <li>ذات الانحدار الشديد</li> <li>تعادل هزة أرضية بمقدار ( ٨ و ٥ ) درجة على مقياس ريختر</li> </ul>
٨	<ul style="list-style-type: none"> <li>يحم الرعب</li> <li>تحصل تدميرات كبيرة وتخریب عام للأبنية الضعيفة</li> <li>تحصل تخريبات متوسطة في الأبنية القوية</li> <li>تسقط النصب التذكارية وتهدم الجدران وتقلب الاثاث وتحصل تغييرات في مستويات مياه الابار</li> <li>تعادل هزة أرضية بمقدار ( ٣ و ٦ ) درجة على مقياس ريختر</li> </ul>
٩	<ul style="list-style-type: none"> <li>يحم الرعب والهلع</li> <li>تدمير شامل للأبنية الضعيفة</li> <li>تتحطم بعض التأسيسات وتتكسر الانابيب الموجودة تحت سطح الارض</li> <li>تتشقق الارض</li> <li>تعادل هزة أرضية بمقدار ( ٨ و ٦ ) درجة على مقياس ريختر</li> </ul>

التأثيرات	درجة الشدة
<ul style="list-style-type: none"> <li>• يدعم الرعب والهلع</li> <li>• تدمير شامل للأبنية الضعيفة</li> <li>• انهيار الأبنية المبنية من الطابوق ، بينما تصمد المباني ذات الهياكل القوية وتتدمر التأسيسات بصورة كاملة</li> <li>• تشقق الأرض بكثرة وتحوي قضبان السكك الحديد كما تطفح مياه الأنهار على الضفاف وتحصل انهيارات أرضية كبيرة (Land Slides)</li> <li>• تعادل هزة أرضية بمقدار ( ٣ ر ٧ ) درجة على مقياس ريختر</li> </ul>	١٠
<ul style="list-style-type: none"> <li>• يدعم الرعب والهلع</li> <li>• تدمير شامل وتام للأبنية الضعيفة ولا يعتمد الا عدد قليل جدا من الأبنية القوية</li> <li>• تحصل تشققات أرضية واسعة وتظهر الحركات الفوالق وتصبح خطوط الانهيار تحت الأرض عديمة الفائدة</li> <li>• تعادل هزة أرضية بمقدار ( ٨ ر ٧ ) درجة على مقياس ريختر</li> </ul>	١١
<ul style="list-style-type: none"> <li>• يدعم الرعب والهلع</li> <li>• تدمير شامل وتام لجميع أنواع الأبنية</li> <li>• يتغلب تعجيل الاهتزازات الأرضية على التعجيل الأرضي ( أي يتجاوز ٩٨٠ سم / ثا<sup>٢</sup> ) بحيث تنقذف الاجسام في الهواء</li> </ul>	١٢

وكثيرا ما تدعو الحاجة الى تخمين تعجيل الحركات الأرضية الزلزالية استنادا على تقارير شدة الهزات حسب مقياس ميركالي ، حيث يستعمل التعجيل المذكور لأغراض التصميم • وقد توصف غوتنبرغ وريختر ( ١٩٤٥ ) ( Gutenberg and Richter, 1945 ) الى العلاقة التجريبية (Empirical) التالية المبنية على المشاهدة والملاحظة :

$$\log_{10}(a) = \frac{I}{3} - \frac{1}{2} \quad \dots(5)$$

حيث أن (a) تمثل التعجيل الأرضي المقاس بالغال (gal) الذي يساوي ١ سم / ثا<sup>٢</sup> •

والملاحظ بأنه كلما كانت البهورة أقل معقا كلما كانت الشدة على سطح الأرض أكثر وبالتالي كسان التعجيل الاهتزازي أكبر • راجع شكل رقم ( ١ ) •

هذا وسوف نتطرق الى دراسة المعادلات الاخرى المعروفة حاليا لتخمين التأثيرات الحركية للهزات الأرضية لاحقا •

من جهة أخرى وضع مقياسا وصفيا اخر في اليابان للشدة • حيث يتكون المقياس الياباني من ( ٧ ) درجات اضافة الى درجة ( الصفر ) وحسب الجدول رقم ( ٢ ) التالي :

جدول رقم (٢) مقياس الشدة الياباني

درجة الشدة	التأثيرات
١	ضعيفة للغاية كما يكون الاحساس بها ضعيف للغاية ويشعر بها الاشخاص في وضع الاسترخاء •
٢	ضعيفة للغاية ويكون الاحساس بها ضعيفا غير أنها تكون محسوسة من معظم الناس • وتهتز الابواب والشبابيك قليلا •
٣	قوية نوعا ما وتهتز المنازل والأبنية • ويسمع صرير الابواب والشبابيك • وتتأرجح الاجسام المعلقة كالمصباح الكهربائي • كما تتحرك السوائل في أوانيها •
٤	قوية وتهتز المنازل والأبنية بشدة وتقلب الاجسام ذات الاستقرار القلقة كما تنسكب السوائل من أوانيها •
٥	قوية جدا وتتشقق الجدران وتقلب النصب كما تتضرر المداخل والمخارج الضعيفة ويصاقط طلاء الأبنية •
٦	تسبب كارثة وتهدم المنازل ( ٢٠ % منها ) وتحصل انزلاقات أرضية وتشقق الأرض والطرق •
٧	تسبب كارثة شديدة • حيث تهدم المنازل ( بنسبة تزيد على ٣٠ % ) وتحصل انهيارات وانزلاقات أرضية شديدة كما تحصل تشققات كبيرة فيها •

وقد بين البروفسور الياباني كاواسومي ( ١٩٤٣ ) ( Kawasumi, 1943 ) بأن تعجيل حركة الأرض في حالة الهزات الأرضية في درجات الشدة العنيفة في المقياس الياباني يمكن أن تخمين بعرجب العلاقات التالية العنيفة على المشاهدة والملاحظة :

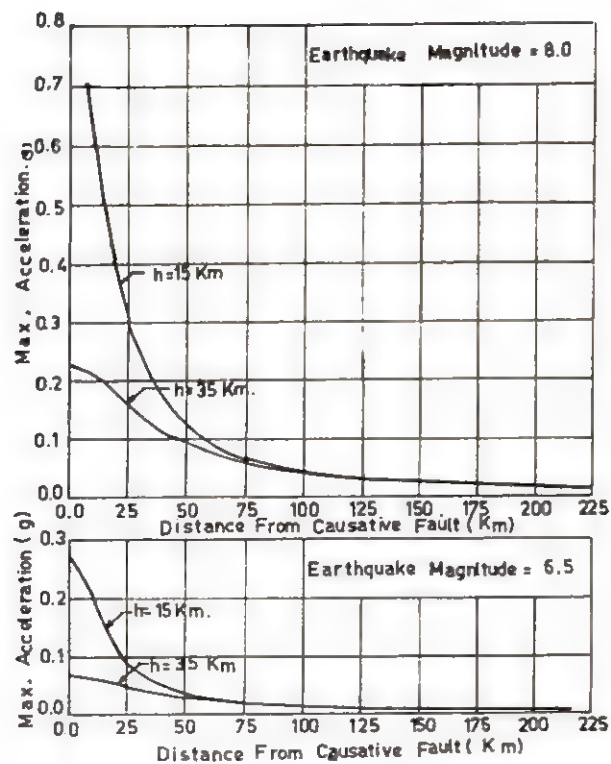


FIG. 1. MAXIMUM ACCELERATION VS FOCAL DISTANCE

شكل (1) - تغيير التجهيل الأقصى للحركة الأرضية مع البعد عن الفالق

(From Lomnitz, 1974)



$$a_0 < 0.8 \text{ gal} \quad \dots(5A)$$

$$a_n = 0.8 (10^{n-\frac{1}{2}} - 10^{n/2}) \text{ gal} \quad \dots(5B)$$

$$1 \leq n \leq 7$$

$$a_7 = 250 \text{ gal} \quad \dots(5C)$$

حيث أن  $(a_n)$  هو التعجيل المقابل لدرجة الشدة  $(n)$

لقد أوجد الباحثون عددا من العلاقات الحسابية بين مقدار الزلزال  $(M)$  وشدة  $(I)$  والبعد البؤري (Focal distance) والذي يرمز له  $(R)$  مقاسا بالكيلومترات • وفيما يلي معادلة (استيف وروزبلوت ١٩٦٤) (Esteva and Rosenblueth, 1964) :

$$I = 8.16 + 1.45 M - 2.46 \log_{10} (R) \quad \dots(5D)$$

وتعطي هذه المعادلة نتائج جيدة في كل من أمريكا الشمالية والعكسيك • أما في الزلازل التي يقل فيها البعد البؤري عن  $(١٠٠)$  كيلومتر فعدد  $n$  يتخذ الحق البؤري (Focal depth) والذي يرمز له بـ  $(h)$  أهمية خاصة • ويعجب معادلة (أرغن ١٩٦٩) (Ergin, 1969) التالية فإن :-

$$I_0 - I = n \log_{10} \frac{(R)}{(h)} \quad \dots(6)$$

حيث أن  $(I_0)$  هي الشدة في المسقط السطحي و  $(n)$  قد يكون العدد  $(٣)$  أو العدد  $(٥)$  • وقد يلاحظ أحيانا في نفس الهزة أن  $(n)$  تساوي  $(٣)$  في اتجاه معين ، بينما تساوي  $(٥)$  في الاتجاه الآخر •

كما أوجد الباحث اليوغسلافي توشج (١٩٨٠) (Tosic, 1980) عددا من العلاقات الحسابية بين  $(M)$  و  $(I_0)$  لبعض المناطق ذات الأهمية الخاصة في العراق ، وذلك من تحليل المعلومات والارصاد المتوفرة •

ففي منطقة أسكي موصل حصل على المعادلة التالية :

$$M = 0.55 I_0 + 1.63 \quad \dots(7)$$

بينما في منطقة بخفة حصل على ما يلي :

$$M = 0.59 I_0 + 1.18 \quad \dots(8)$$

وبالنظر لقلة المعلومات المتوفرة فلم يتمكن الباحث المذكور من الحصول على معادلة  $(M)$  كدالة لكل من  $(I_0)$  و  $(h)$  أي  $M = F(I_0, h)$  • غير أنه وبصورة عامة يمكن القول بأن الهزات في المنطقة المحصورة بين جبال زاكروس و نهر دجلة تكون ضحلة ولا يتجاوز عمقها بين ١٥ - ٣٥ كم

وقد قام الباحث نفسه بتحليل المعلومات والارصاد المتوفرة لمنطقة القفقاس فحصل على :

$$M - \frac{2}{3} I_0 = 1.65 \log_{10}(h) - 1.42 \quad \dots(9A)$$

وعليه فلو اعتمدنا هذه المعادلة مع أخذ  $(h) = 10$  كيلومتر فأًن النتيجة التي تعطىها هذه المعادلة تكون مقاربة للنتائج من المعادلتين (7) و (8) ويحدود دقة قدرها ( ٠ % ) عندما تكون الشدة بحدود ( ٥ ) ويحدود دقة قدرها ( ٣ % ) عندما تكون الشدة ( ٩ ) • من جهة أخرى توصّل الباحثان بوتون وفارناسو (Puttonen and Varpasuo, 1982) في دراسة المخاطر الزلزالية لشمال العراق على المعادلة التالية التي تربط بين مقدار الزلزال وبعد البؤرة السطحية (Epicentral Distance) وهي المسافة بالكيلومترات بين الصقطة السطحي لبؤرة الزلزال ونقطة الرصد اعتقاداً على المعادلات التي توصل اليها جاندرا (Chandra, 1969) لزلزال حدثت في ايران :

$$I = 8.44 + 0.95 M - 2.14 \ln(R + 20) \quad \dots(9B)$$

حيث أن

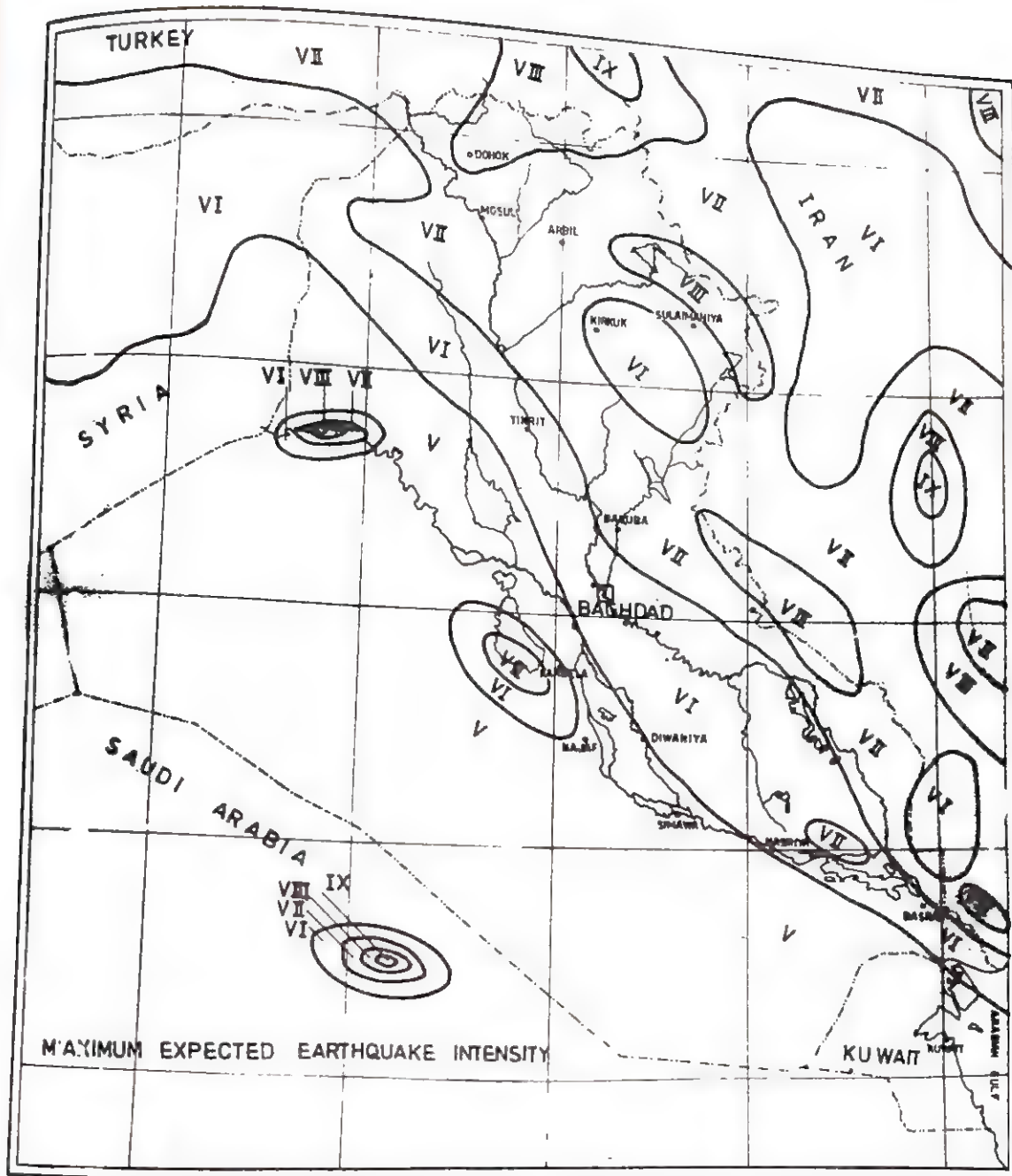
$$M = 1.05 I_0 - 2.09 \quad \dots(9C)$$

باستعمال العلاقات اعلاه توصل فهمي ( ١٩٨٤ ) ( Fahmi, 1984 ) الى ارتسام خارطة أولية تبين توزيع الشدة الزلزالية المتوقعة (Maximum Expected Intensity) في العراق ( انظر الشكل رقم ٢ ) •

#### ١٠٤ كيفية تحديد بؤرة الزلزال (Epicentral Location)

كما سبق ولوهنا فأًن بؤرة الزلزال هي تلك المنطقة من قشرة الارض التي حصل فيها التحوير السريع للطاقة المخزونة • أي هي تلك المنطقة التي حصل فيها الانفلاق والتشقق • وعليه فان العوجات الزلزالية تكون منهجرة على طول الفالق • ولغرض تبسيط العملية فأًن منطقة تحرر الطاقة تحت نقطة واحدة وتسمى هذه النقطة بمركز الزلزال أو البؤرة (Hypocenter) •

ولغرض تحديد موقع زلزال معين فيجب أن يتم تسجيله في ثلاث محطات زلزالية على الأقل • ثم يتم تحديد أنواع العوجات الزلزالية على السجل الزلزالي ( السيزموغرام ) • وتتم الاستفادة من ظاهرة الاختلاف في سرعة الانواع المختلفة من العوجات الزلزالية • حيث يؤخذ الفرق في زمن وصول كل نوع من أنواع العوجات ( وسوف يتم شرح أنواع العوجات لاحقاً ) • ويمكن تحويل الفرق في زمن وصول العوجات الى مسافات باستعمال معادلات خاصة أو باستعمال جداول ومنحنيات معدة لهذا الغرض • ان المسافة التي يتم الحصول عليها هي المسافة المطلقة ويعني بذلك المسافة بين المحطة والبؤرة وبدون تحديد الاتجاه • أي أن المحطة الواحدة يمكن أن تحدد بعد البؤرة عنها غير أنها لا تستطيع تحديد اتجاهها



شكل ( ٢ ) خارطة التوزيع المحسوب لشدة الهزات الأرضية في العراق •  
(From Fahmi, 1984)

البويرة منها • ولتحديد البويرة بصورة دقيقة تستعمل خرائط معينة يثبت عليها مواقع محطات الرصد • ويتم رسم ( حول محطة الرصد التي سجلت الزلزال ) دائرة نصف قطرها المسافة المطلقة التي تم الحصول عليها من السجل الزلزالي • ويتم هذه العملية في بقية المحطات التي استطاعت تسجيل الزلزال نفسه • أن الدوائر المرسومة على هذه الخرائط سوف تتقاطع في منطقة ما • وتكون هذه المنطقة المكان الذي حصل فيه الزلزال أي البويرة السطحية •

(Seismic Waves)

١٠٥ الموجات الزلزالية

يمكن تشبيه القشرة بجسم من (Elastic) • وبذلك تخضع الموجات المنقلة خلاله لقوانين المرونة ومنها قانون هوك •

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \dots(10)$$

حيث أن (E) هو التشوه الناتج عن الجهد (σ) • كما أن (G) هو معامل ثابت للمرونة المادة • ويكون له قيمة مخطئة إذا ما كان التشوه ناجم عن انضغاط المادة أو ناجم عن القص (Shear) • وعند حصول زلزال في موقع ما من القشرة الأرضية فإن هناك نوعين رئيسيين من الموجات الزلزالية التي تتجسم عنه :

أولاً : الموجات الباطنية أو الجسمية (Body waves) : وتنتشر خلال باطن الأرض وتكون على نوعين :

أ- الموجات الطولية : (Longitudinal Waves)

ويكون اتجاه ذبذبتها باتجاه مواز لمسار الموجة • وهي الموجات الناتجة عن الانضغاط (Compression mode) وتسمى أيضاً بالموجات الأولية (Primary Waves) ويرمز لها بـ (P-waves) • وتسير هذه الموجات خلال المواد الصلبة والسائلة على حد سواء •

ب- الموجات المستعرضة : (Transverse Waves)

ويكون اتجاه ذبذبتها باتجاه عمودي لمسارها • وهي الموجات الناتجة عن جهد مماس (Tangential stress) أي ناجمة عن فعل القص (Shear mode) وتسمى أيضاً بالموجات الثانوية (Secondary waves) ويرمز لها بـ (S-waves) وتكون أقل سرعة من الموجات الطولية وتنقل في المواد الصلبة فقط •

ثانياً : الموجات السطحية (Surface waves) : وهي الموجات المنقلة على سطح الأرض أو قريباً منها وهي التي تسبب معظم التخريشات عند حصول الزلزال اعتماداً على مدى تطابق التردد العوجي بالترددات الأساسية للأبنية والمشيدات •



وتنقسم أيضا الى شكلين من الأمواج :

(Rayleigh Waves)

أ - موجات ريلي

وهي الموجات الطولية السطحية والتي تحاول تشويه السطح بالانضغاط .

(Love Waves)

ب - موجات لوف

وهي الموجات المستعرضة السطحية والتي تسبب تشوهات القص على السطح . وتعتمد سرعة العوجة السطحية على تردد هـا كما تعتمد على طبيعة التركيب الجيولوجي القريب من سطح الأرض والطبقات الجيولوجية التي تسير خلالها .

(Aftershocks)

١٠٦ الهزات الثانوية

يمكن معرفة الهزة الأرضية من بعض أو كل من الأمور الثلاثة التالية :

الأول عند حصول تشقق في القشرة الأرضية ، والثاني عند حصول تحرر سريع وعشوائي للطاقة المخزنة في باطن الأرض نحو سطحها . أما الأمر الثالث فمن خلال أبحاث الموجات الزلزالية التي تنتشر خلال باطن الأرض وعلى سطحها . وتتخصص الميكانيكية التي تحصل فيها الهزة بها يلي :

أ - ازدياد حدة الاجهاد في منطقة محددة من القشرة وتركزها حول فائق معين وقد تصل حدة الاجهاد في منطقة البؤرة حداً عالياً قد يبلغ ( ١٠٠ ) بار .

ب - حصول تشقق على طول الفائق ووقوع الهزة الأرضية الرئيسية ، حيث تتحرر بعض من الطاقة المخزنة ، وبذلك تنقص الطاقة المخزنة في مجال الاجهاد بمقدار يساوي الطاقة المنبعثة كموجات زلزالية وطاقة حرارية .

ج - ولكي يستعيد الوسط استقراره فإن ذلك يتم بتحرير الاجهادات المتبقية على شكل هزات ثانوية (Aftershocks) تعقب الهزة الرئيسية .

ولغرض توضيح النقطة الأخيرة لابد من أن نذكر بأن الطاقة المتحررة تتناسب مع مربع الاجهاد فعند انخفاض الاجهاد في البؤرة بمقدار ( ٥٠ % ) فإن هذا يعني بأن الطاقة المتحررة تساوي ( ٢٥ % ) وهذا يعني نقصان في الطاقة في القشرة الأرضية في موقع الفائق عن مستوى التوازن مما يؤدي الى سريان الطاقة نحو المناطق التي استنفذت فيها لاسترجاع حالة التوازن . وبأخذ هذا السريان أوجه عديدة كالطاقة الحرارية أو طاقة كامنة . وتكون حالة الاجهاد والتشوه في بؤرة الهزة أبعد ما تكون عن حالة الاستقرار والتوازن مما يؤدي الى ازدياد الاجهاد التدريجي ووصوله مرة أخرى

الى المستوى الحرج وإطلاق عدد من الهزات الصغيرة المتتالية الثانوية (Aftershocks) • وعليه يلاحظ عند حصول هزات أرضية كبيرة في منطقة ما وقوع عدد من الهزات المتتالية التي تعقب الهزة الرئيسية وتكون أقل منها مقداراً •

(Explosions and Earthquakes)

١٠٧ الهزات الأرضية والتفجيرات

يمكن لأي انفجار في باطن الأرض أو على سطحها أن يعتبر مصدر بسيط للهزات الأرضية • وبالتقاربة مع أي هزة أرضية فإن هذا المصدر يعتبر مصدر نقطي (Point Source) وتكون جبهة العوجة البدائية المنبعثة عن الانفجار كروية وناتجة عن الانضغاط فقط (Compression mode) • عند وقوع الانفجار في باطن الأرض ستكون العوجات الزلزالية المتركزة في محطات الرصد بشكل رئيسي باطنية وبسيطة وطولية (P-waves) وتقدر الطاقة المتحررة من الانفجار أو ما يعرف بحصيلة الانفجار (Yield) بما يكافئها عادة من مادة (تي • أن • تي • ا) ، حيث أن حصيلة الطن الواحد من هذه المادة تساوي (٤ × ١٠) أرك • وعلى هذا الأساس فإن انفجار نووي بقوة (٢٠) كيلو طن ( وهذا يساوي قوة قنبلة هيروشيما ) يكون ذو حصيلة قدرها ( ٨ × ١٠ ) أرك •

لذا نرى أنه بالامكان ومن خلال دراسة العوجات المسجلة للهزة الأرضية ( وبالذات العوجات الطولية ) معرفة ما إذا كان السجل الزلزالي ناتج عن أسباب طبيعية أو عن تفجير نووي تحسنت الأرض • وتستعمل طرق التمييز بين الزلازل والتفجير للتحقق من وقوع هذه التفجيرات • كما يمكن تقدير مقدار الانفجار من خلال معرفة حصيلة الانفجار محسوبة بالكيلوطن بشرط معرفة طبيعة الصخور في منطقة التفجير وفي الوسط الذي انتقلت فيه العوجات •

وقد أمكن التوصل الى المعادلة التالية لهذا الغرض : —

$$m = 0.67 \log_{10}(Y) + K + 0.3 \quad \dots(11)$$

حيث أن (Y) هي حصيلة الانفجار بالكيلوطن وان قيمة (K) تساوي (٤.٢٥) إذا ما كانت الصخور من الغرانيت ، بينما تساوي ( ٣.٢٥ ) للرسيوبات الجافة (Dry Alluvium) •

مما تقدم يمكن القول بأن قنبلة نووية بقوة قنبلة هيروشيما تعطي مقدار هزة (m) قدرها ( ٥.٤ ) •

١٠٨ الطرق الإحصائية المستعملة في دراسة الهزات الأرضية (Statistical Seismology)

قبل العديد من السنين كان الظن غالباً بأن الهزات الأرضية ما هي الا ردود فعل في القشرة الأرضية ناجمة عن اجهادات ذات تكرار منتظم • وكانت هناك العديد من الفرضيات حول هذا التكرار

وفتراته فمثلا اقترحت الفترات المنتظمة التالية لهذا التكرار : ٤٢ دقيقة ، يوم واحد ، ١٤٨ يوم ، ٢٩٦ يوم ، ٦ أشهر ، سنة واحدة ، ١١ سنة ، ١٩ سنة • والملاحظ بأن هذه التكرارات مرتبطة بتكرار الدوران في الافلاك لمجموعة ( الشمس - الارض - القمر ) • ونحن لا شك بأن قوى جاذبية الارض والقمر لها تأثير معين في توليد الاجهادات في قشرة الارض الا أنه لا تزال قوى الارض الباطنية هي الاساسية في حدوث الهزات الارضية ، ولذلك فإن تحليل أية سلسلة زمنية للهزات الارضية (Time Series) وبموجب متوالية فورييه (Fourier Series) يفشل في تعقب أى أثر للفترات الزمنية الشمسية أو القمرية • من ذلك فقد اقترح السيورهارولد جيفريز (Sir Harold Jeffreys) النظرية القائلة بأن الهزات الارضية انما تتم نتيجة انصياع (Yield) القشرة الارضية المكونة من المعدن (Elasto-Plastic) الحاصل في مركز الهزة والناجم من تراكم الاجهادات التدريجي وصولا الى الاجهاد الحرج الذى ينتج عنه التكسر وبالتالي الزلزال •

ان هذه الظاهرة الطبيعية تتم بصورة عشوائية (Random) كأي ظاهرة طبيعية عشوائية اخرى كالفيضانات مثلا وان كان وقوعها متصلا بالموقع العام للمنطقة وجيولوجية القشرة الارضية في تلك المنطقة •

وعليه فإن من الممكن دراسة هذه الظاهرة باستخدام الطرق الاحصائية الرياضية وتمثيلها بنماذج رياضية عشوائية تعطى نفس الخواص والصفات الاحصائية وتخضع لقوانين الاحتمالات (Probability Laws) •

#### ١٠٨٠١ علاقة المقدار - التكرار ونموذج بواسون

(Magnitude-Frequency Relationship and Poisson's Model)

١- توصل العالمان اليابانيان اشيموتو وايدا (Ishimoto and Iida, 1939) بعد دراسة السيزموغرامات لمنطقة كوانتو باليابان الى أن عدد الهزات في منطقة ما تتناسب أسيا مع مقدارها وبموجب المعادلة التالية والتي تعرف بمعادلة (المقدار - التكرار) لحدوث الهزات الارضية :

$$\log_{10} N(M) = a - bM \quad \dots(12)$$

وقد توصل العالمان الأمريكيان غوتنبرغ وريختر سنة (١٩٤٥) (Gutenberg and Richter, 1945) الى نفس العلاقة من دراسة عدة مناطق في العالم •

تعتبر علاقة المقدار - التكرار المبنية في المعادلة رقم (١٢) القاعدة الاحصائية الاساسية لوصف الفعالية الزلزالية لمنطقة معينة ضمن فترة زمنية محددة ، حيث يمكن من خلالها تقدير (من الناحية الاحصائية) تردد حدوث الزلازل لتلك المنطقة في المستقبل • وكما هو واضح من العلاقة

فلو أرتفعنا عدد الهزات الأرضية  $N(M)$  لكل سنة ضمن عينة زمنية محددة ( تحتوي على عدد معين من البيانات الزلزالية ) لرقعة أقلية ذات مساحة معينة على ورق نصف لوغاريتمي (Semi-log) لوجدنا بأن العلاقة تمثل خط مستقيم ذو ميل (b) وقطع موجب (a) وهنا تمثل (a) مستوى الفعالية الزلزالية ، بينما تمثل (b) سرعة انخفاض أو هبوط الفعالية الزلزالية للمنطقة المدروسة عبر العينة الزمنية التي تم تحليلها ( انظر الشكل رقم ٣ ) .

ولا بد لنا هنا أن نوضح حقيقة أساسية فيما يتعلق بعلاقة مقدار الزلزال بتكرار حدوثه وهي أن هناك عدم تكامل في البيانات الزلزالية في النهايات العظمى ( $M_{max}$ ) والصغرى ( $M_{min}$ ) للعلاقة ، لذلك يجب قطع التوزيع الاحصائي عند تلك النهايات . أما سبب النقص في البيانات من النهاية العظمى فمصدره طبيعي يتعلق بقلّة حدوث الهزات الأرضية الكبيرة ذات الطاقة الهائلة . من جهة أخرى فإن وجود حد أدنى لمقدار الزلازل سببه محدودية قابلية أجهزة الرصد الزلزالي على تسجيل الهزات الأرضية الصغيرة والتي تقع تحت حد معين من المقدار ( Threshold Magnitude ) .

بالرجوع للعلاقة رقم (١٢) ومن الناحية الاحصائية التجميعية أو التراكمية يمكن تقدير أكبر قيمة متوقعة لمقدار الزلزال في العينة الزمنية والتي تساوى :

$$a/b = M_{max}$$

بالرجوع الى شكل رقم ( ٣ ) نرى أن القطع الموجب (a) يساوى  $\log_{10} N(0)$  أى أن  $\log_{10} N(0)$  يمثل عدد الهزات كافة التي تزيد على ( صفر ) ومعنى آخر فإن (a) تمثل لوغاريتم مجموع الهزات الأرضية المتوقعة الحصول في فترة زمنية . ويمكن كتابة المعادلة (١٢) كالآتي :

$$\log_{10} N(M) = \log_{10} N(0) - bM \quad M \geq 0$$

أى :

$$bM = \log_{10} [1 - F(M)]$$

حيث يمثل  $F(M)$  توزيع التكرارات التراكمي (Probability Cumulative Distribution) وبإبدال اللوغاريتمات الاعتيادية الى اللوغاريتمات الطبيعية وتحويل الأساس من (١٠) الى (e) نحصل على :

$$-bM = \log_{10} 1 - F(M)$$

$$1 - F(M) = e^{-bM}$$

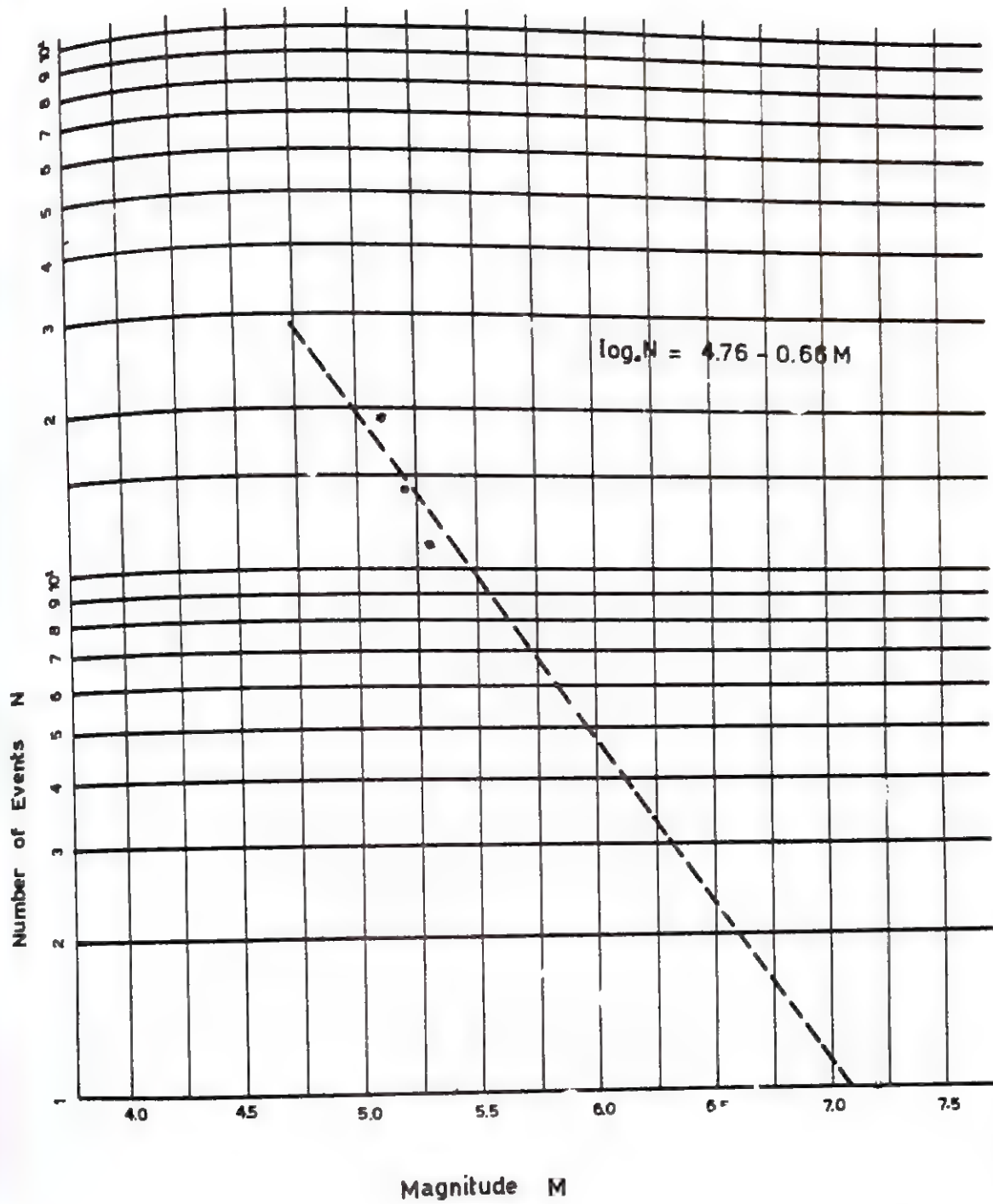
$$M \geq 0$$

أى (13) ...

حيث أن

$$B = \frac{b}{\log_{10} e}$$





شكل ( ٣ ) علاقة التكرار - المقدار للهزات الأرضية •

أما توزيع التكرار نفسه (Frequency distribution) فيمكن الحصول عليه بإيجاد مشتقة

المعادلة (١٣) بواسطة التفاضل ، حيث نحصل على :

$$f(M) = B e^{-BM} \quad M \geq 0 \quad \dots(14)$$

تعتبر المعادلة (١٤) إلى أنه إذا كانت ظواهر الهزات الأرضية تخضع إلى نموذج بواسون

على أساس :

- ١. توفر الاستقلالية بين حدوث الهزات الأرضية
  - ٢. أن الهزات المستقبلية تستند على الفعالية الزلزالية العاضية
- والتي يمكن أن تعطى بهذا التوزيع بواسون :

$$P_n(M) = (\lambda M)^n e^{-(\lambda M)/n!} \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

فإن توزيع الفترات الزمنية بين حدوث أي زلزالين متتاليين هو التوزيع الأسّي (Exponential Distribution) . وذلك يمكن استخراج متوسط القدار ( $\bar{M}$ ) حسب هذا

التوزيع :

$$\bar{M} = \frac{1}{B}$$

وفي حالة اهتال الهزات التي تقل من حد معين أي عندما يكون  $M \geq M_{min}$

فإن معدل مقدار الهزة يكون :

$$\bar{M} = M_{min} - \frac{1}{B}$$

كما أن الانحراف المعياري (Standard deviation) كالآتي :

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{B}}$$

بالرجوع إلى المعادلة (١٣) فمن الواضح بأنها تعطينا عدد الهزات كافة التي تزيد في

مقدارها عن ( صفر ) . وفي حالة رغبتنا في الحصول على عدد الهزات التي تزيد في مقدارها عن حد معين ( $M_{min}$ ) فعندئذ :

$$\frac{N(M_{min})}{N(0)} = \frac{1 - f(M_{min})}{1 - f(0)}$$

وحيث أن  $f(0)$  يساوي ( صفر ) في نقطة الاصل و  $N(0)$  تساوي عدد الهزات الأرضية التي يزيد مقدارها على صفر أي  $(10)^6$  فعندئذ :

$$N(M_{min}) = N(0) [1 - f(M_{min})]$$

$$N(M_{min}) = 10^8 [e^{-BM_{min}}]$$

$$M \geq M_{min}$$

أى :

مثال : من دراسة السجل الزلزالي لأحدى المناطق فقد تم التوصل الى ما يلي :

$$B = 2.5$$

$$a = 5.3$$

ستويا

والمطلوب احتساب متوسط مقدار الهزة لهذا السجل للهزات التي تزيد في مقدارها عن ( 4.5 ) ، وكذلك إيجاد متوسط العدد السنوي المتوقع الحصول من هذه الهزات •

الحل :

$$M \geq 4.5 \quad \text{متوسط مقدار الهزة } (\bar{M}) \text{ عندما يكون}$$

$$\bar{M} = 4.5 + \frac{1}{2.5} = 4.9 \quad \text{هو :}$$

أما المتوسط السنوي لعدد الهزات فيكون :

$$N(4.5) = 10^{5.3} [e^{-2.5(4.5)}] = 2.4$$

لذلك يمكننا أن نعرف بأن عدد الهزات ستويا سيكون اثنتان كحد أدنى •

(The Klondyke Model)

نموذج كولوندايك ١٠٨٠٢

كما سبق وأوضحنا فإن أية هزة أرضية تعرف بأحداثيات موقعها الجغرافي ، أى خطوط الطول والعرض للمنطقة (  $\lambda^0$  ,  $\phi^0$  ) ، وكذلك زمن وقوعها ( t ) ومقدارها ( M ) علما بأن هناك ارتباط مباشر بين مقدار الهزة ( M ) ( أى الطاقة المتحررة في الزلزال ) وبين الوضع التكتوني للموقع الجغرافي ، لذا فإن من الممكن اعتبار التوزيع التكرارى لمقدار الهزات f(M) دالة للاحداثيات ، وكذلك الحال بالنسبة لعدد مقدار الهزات • وعليه يمكن اعتبار الدالة f(M) دالة حيزية (Space Series) • أما تتابع الهزات الثانوية (Aftershocks) الواحدة تلو الأخرى بعد الهزة الرئيسية (Main shock) فهو يخضع لتتالية زمنية (Time Series) معروفة بدالة زمنية f(t) ، حيث يخضع هذا التتابع الى عشوائية هذه الهزات من الناحية الاحصائية ، وذلك يكون مقدار الهزة الثانوية مستقل عن زمن وقوعها •

لقد اعتمد نموذج كلودايك على هذا الأساس ، وذلك لدراسة الهزات الرئيسية والثانوية وعلى افتراض أن التوزيع التكراري المشترك لهذه الهزات يتكون من دالتين مستقلتين من بعضهما ~~ألا أن أحدهما تحد من الأخرى كما يجب أن تقع أحدهما ضمن الأخرى~~ .  
فلاصغرها  $f(M, t)$  هو التوزيع التكراري المشترك بالنسبة للقدار والزمن فعدده يمكن كتابته بالشكل التالي :

$$f(M, t) = f_1(M) \cdot f_2(t) \quad \dots(15)$$

ويمكن تقريب المتوالية الحيزية  $f_1(M)$  بنموذج بواسون (معادلة رقم ١٣) ، حيث أن :

$$f(M) = 1 - e^{-\bar{M}M}$$

$$\bar{M} = 1/B$$

و

لقد جاء افتراض نموذج كلودايك هذا من تحليل هزة مايمو التي ضربت شبلي فسي (٤) (٤) أيلول سنة ١٩٥٨ وقد كان هناك ثلاث هزات رئيسية بقدار (٦٩) درجة ، (٦٧) درجة ، (٦٨) درجة على التوالي ، ثم أعقب ذلك سلسلة من الهزات الثانوية عدد (٤٨) هزة وقد لوحظ بأن مقدار الهزات الثانوية هذه كانت متقاربة جدا ، (حيث كان أكبرها ٥٢٦ درجة وأصغرها ٣٠٢ درجة) وقد تطبعت للفترة من (٤) أيلول ١٩٥٨ ولغاية (٢٦) تشرين ثاني ١٩٥٨ وقد بقي معدل الهزات ثابتا تقريبا .

أما بالنسبة للمتوالية الزمنية  $f_2(t)$  فقد وجد أوتسو (١٩٦١) (Utsu, 1961) بأنها تخضع للمعادلة التالية :

$$f_2(t) = C_1 t^{-h} \quad \dots(16)$$

حيث أن  $f_2(t)$  تعزل تكرار الهزات الثانوية وأن  $C_1$  و  $h$  هما ثابتان . أما  $(t)$  فيمثل الفترة الزمنية محسوبة منذ وقوع الهزة الرئيسية .

هذا ويمثل الثابت  $h$  معدل تضائل واضمحلال تكرار الهزات الثانوية ويمكن من دراسة هذا الثابت التوصل إلى استنتاج الحالة الفيزيائية وحالة الجهد في منطقة الهزات الثانوية . ويسرى أوتسو بأن المعادلة تعطي نتائج جيدة ولغاية (١٠٠) يوم بعد وقوع الهزة الرئيسية . أما عند تجاوز المدة ذلك فإنه يقترح المعادلة التالية :

$$f_2(t) = C_1 e^{-Pt} \quad \dots(17)$$

حيث أن  $C_1$  و  $P$  هما ثابتان



## ١٠٨٠٢ الفعالية الزلزالية للعراق وعلاقة المقدار - التكرار

(Seismic Activity in Iraq and the Magnitude-Frequency Relationship)

يقع العراق من الناحية التكتونية على الحدود الشمالية الشرقية للصفحة التكتونية العربية (Arabian Plate) وتتميز هذه الحدود بخط شبه مستقيم من البؤر الزلزالية على امتداد سلسلة جبال طوروس - زاغروس (Taurus-Zagros) بشكلًا يذكّر حزامًا ضغطيًا يتضمن الحدود الشرقية والشمالية الشرقية للعراق. • يعتبر هذا الحزام جزءًا أساسيًا ومكملاً للحزام الزلزالي الأكبر الذي يمتد من سلسلة جبال الألب في أوروبا مروراً بمنظومة جبال طوروس - زاغروس وصولاً إلى جبال الهيمالايا في الهند والصين.

تشير الدراسات السابقة التي أجريت خلال العشرة أعوام الماضية حول الزلزالية التاريخية (السلي وغبالب ١٩٧٥) (Al-Sinawi & Ghalib, 1975 a) والزلزالية الحديثة (السلي وغبالب ١٩٧٥) (Al-Sinawi & Ghalib, 1975 b) للعراق بأن فعالية وتعدد حدوث الهزات الأرضية تلازم بل وتناظر التوزيع التركيبي والتكتوني للقطر.

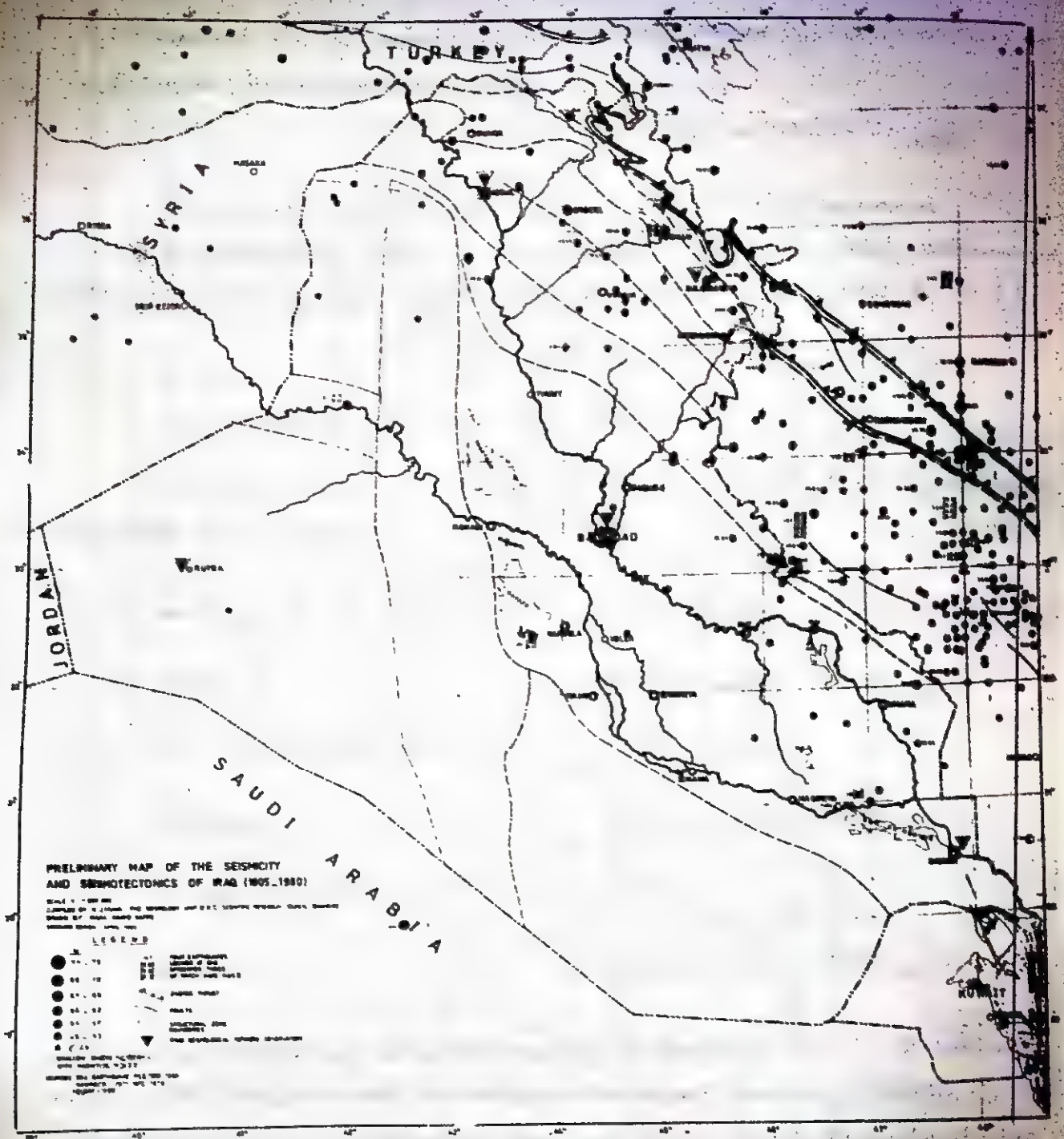
يوضح الشكل رقم (٤) هذه الحقيقة والذي يمثل خارطة أولية لمواقع البؤر الزلزالية ضمن الرقعة الجغرافية للعراق (خطي طول  $38^{\circ}$ - $49^{\circ}$  N وخطي عرض  $28^{\circ}$ - $38^{\circ}$  N) مستمدة من المعلومات الزلزالية والتكتونية المحددة والمتوفرة لدى وحدة الرصد الزلزالي بمجلس البحث العلمي العراقي (فهي ١٩٨٢؛ Fahmi, 1982) خلال الفترة من ١٩٥٥ - ١٩٨٠. ومن الجدير بالذكر أن المعلومات الزلزالية المسقطة على الخارطة اعطت الذكوة تعكس الطاقة الزلزالية (العائدة لوحدة الرصد الزلزالي) والتي تمثل سجل يحتوي على أكثر من ٥٧٠ زلزالاً منذ عام ١٩٥٥.

باستخدام الطاقة الزلزالية المتوفرة جرت عدة دراسات لايجاد علاقة المقدار - التكرار للعراق بشكل عام ولمواقع محددة ضمن القطر كما أحدثها وأشعلها دراسة العباسي (١٩٨٤) (Al-Abbasi, 1984)، حيث تم تقدير معالم العلاقة (12) للعراق باستخدام طريقة المربعات الصغرى (Least Squares) كما موضح في العلاقة (18) أدناه:

$$\log_{10} N_0(M) = 6.19 - 0.84 M \quad (M \geq 4.5) \quad \dots(18)$$

حيث ( $N_0$ ) تمثل التكرار المتجمع و  $a = 6.19$  و  $b = 0.84$  • بناءً على هذه العلاقة يمكن استخراج أكبر قيمة متوقعة لمقدار الزلزالية في المنطقة المدروسة ضمن العينة الزمنية البالغة ٢٨ سنة وهي:

$$M_{\max} = \frac{a}{b} = 7.4$$



شكل ( ٤ ) خارطة توزيع بؤر الهزات الأرضية في العراق .  
(From Fahmi, 1982)

ومذه النتيجة تتفق بشكل جيد مع مقدار الهزة الأرضية القصوى المشاهدة في الرقعة الجغرافية نفسها ضمن نفس العينة الزمنية والذي يبلغ :

$$M_{\max} (\text{Observed}) = 7.3$$

أما فيما يتعلق بالدراسات لمناطق محددة من القطر فهناك دراسة امبراسيز ( ١٩٦٩ ) ( Ambraseys, 1969 ) والتي تم من خلالها اشتقاق معادلة المقدار - التكرار لمنطقة التضاريس المحددة بخطي طول  $43^{\circ}$ - $47^{\circ}$ N وخطي عرض  $32^{\circ}$ - $36^{\circ}$ N ( انظر الشكل رقم ٥ ) :

$$\log_{10} N(M) = 5.2 - 0.74 M \quad \dots(19)$$

حيث أن العينة الزمنية المدروسة كانت ٦٠ سنة •

في دراسة أحدث لتوشج ( ١٩٨٠ ) ( Tosic, 1980 ) تم اشتقاق المعادلتين التاليتين ( انظر الشكل رقم ٦ ) :

— منطقة سفوح الجبال ( Foot hills ) المجاورة لجبال زاكروس ومعادلتها :

$$\log_{10} N(M) = 4.58 - 0.69 M \quad \dots(20)$$

— منطقة جبال زاكروس ومعادلتها :

$$\log_{10} N(M) = 5.21 - 0.77 M \quad \dots(21)$$

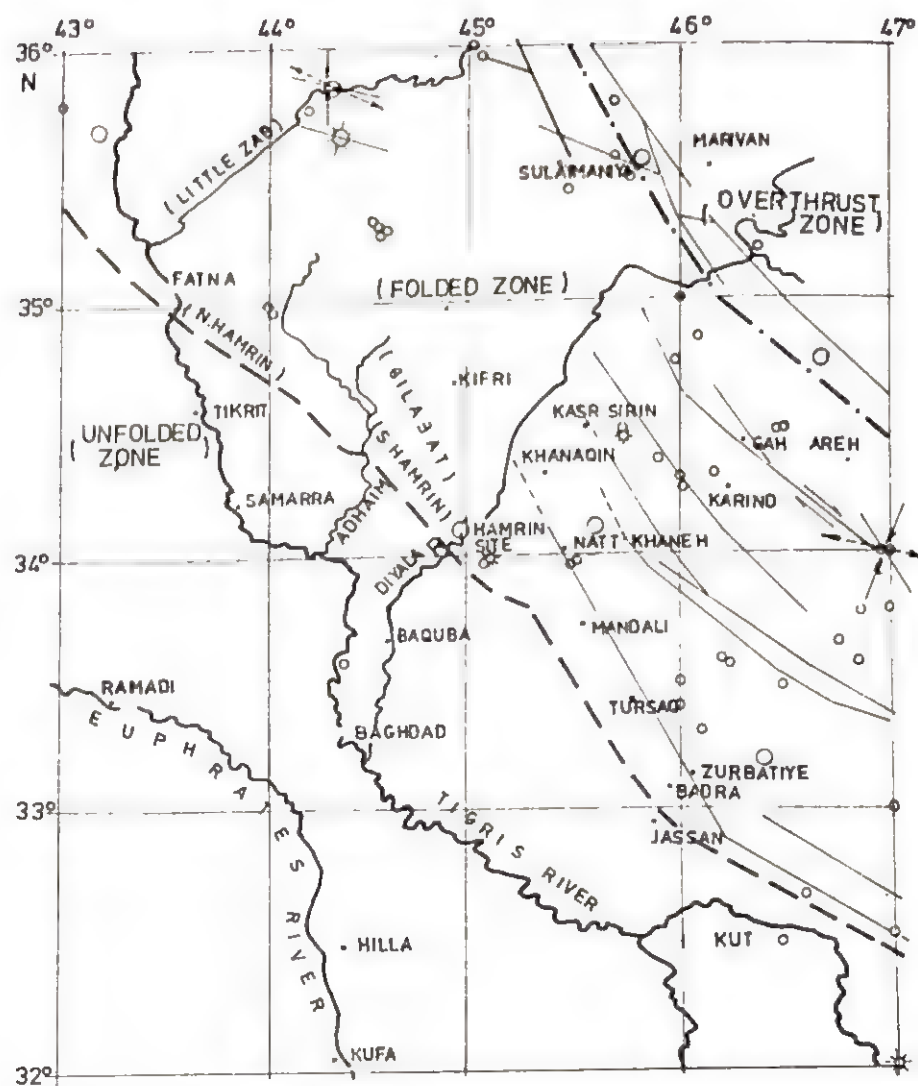
هذا وعند أخذ المنطقتين معا نحصل على :

$$\log_{10} N(M) = 5.25 - 0.74 M \quad \dots(22)$$

وبذلك نرى أن هناك تشابه بين دراستي امبراسيز وتوشج ( أى المعادلتين 19 و 22 ) لتضاريف مساحات المنطقة المدروسة ولتماثل العينة الزمنية المستخدمة • وهنا تجدر الإشارة إلى أن (M) في المعادلات (19) إلى (22) تساوى أو تزيد على ٨ أى أن  $M \geq 4.8$  • من ناحية أخرى نلاحظ بأن منطقة سفوح الجبال المجاورة لمنطقة أسكي موصل ( والتي تمتد من ١٥٠ كيلو مترا إلى ٢٥٠ كيلو مترا من أسكي موصل وبمساحة دائرية تخضع للمعادلة التالية ( انظر الشكل رقم ٣ ) - :

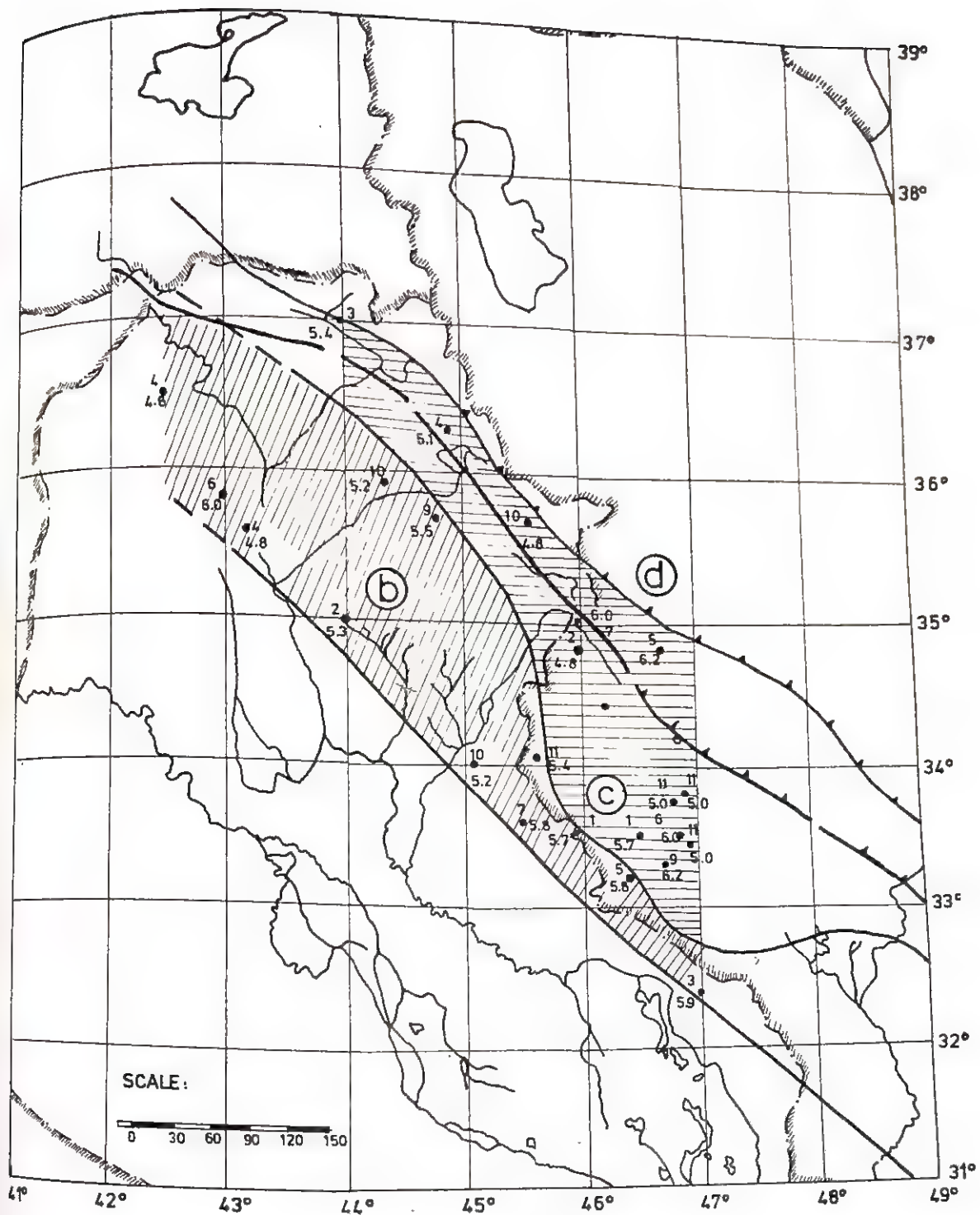
$$\log_{10} N(M) = 4.76 - 0.66 M \quad (M \geq 5) \quad \dots(23)$$





الشكل (5) - منطقة التضاريس في شمال وشمال شرق العراق مع مواقع  
بؤر الزلازل المهمة





شکل (٦) - المنطقة المدروسة من قبل توسج في شمال وشرق حرقه الدار

(From Tosic, 1980)

لو أخذنا عطية عشوائية افتراضية  $x(X,t)$  ، حيث أن  $(X)$  هو متغير ذو أهمية هندسية لأحد جوانب التصميم وليكن ذلك مثلاً (التصريف) لنهر ما . ولكن الدراسة فسي هذه الحالة انشاء سد على هذا النهر . ففي أغلب الاحوال لا يعتمد تصميم السد على المعرفة الدقيقة للمتغير  $x(X,t)$  وانما على القيم القصوى أو (الصغرى) للمتغير  $(X)$  والتي يمكن لهذا المتغير أن يأخذها خلال العمر التصميمي للمشروع .

ان المعرفة الكاملة بالعطية  $x(X,t)$  تتضمن ولا شك المعرفة الكاملة بالبيانات كافية بضمها القيم القصوى أو (الصغرى) . الا أن تحليل سجل البيانات الكامل يكون عادة معقد ومتعصب للغاية . كما أن هناك احتمال كون السجل المذكور غير كامل . لذا يمكن تقسيم العينة الزمنية للسجل الى فترات زمنية منتظمة وتركيز الدراسة على القيم القصوى أو (الصغرى) للمتغير في كل فترة من هذه الفترات .

وكما أشرنا اذا لو كان المتغير  $(X)$  هو التصريف في النهر ولو جعلنا  $(Y)$  تمثل تصريف الفيضان السنوي الأقصى (Maximum Annual Flood) فتتخذ القيم القصوى  $(Y)$  للمستويات المتتالية بعطية نقطية (Point Process) منتظمة تقع ضمن العطية الأصلية المستمرة  $x(X,t)$  . ويمكن أن تمثل هذه العطية النقطية بتوزيع رياضي احصائي معين يستند بالاساس على نظرية الاحتمالات . من جهة اخرى تعتبر النظرية الاحتمالية في الاحصاء الرياضي المركز الاساسي في تحليل وتقييم المخاطر الزلزالية (احصائيا) وبالتالي توقع الحدوث الدوري لأقصى مقدار زلزالي (التهرب الزلزالي) ضمن رقعة جغرافية معينة .

فيما يلي سنتناول نظرية القيم القصوى بشيء من التفصيل مستعدين بذلك على دراسة المباسي ( ١٩٨٤ ) .

يعتبر احصاء القيم القصوى حالة خاصة من الاحصاء الترتيبي والذي يتم من خلاله ترتيب المشاهدات (البيانات) تصاعدياً (أو تنازلياً) حسب قيمتها . فإذا كان  $M_1$  متغير عشوائي مستقل له دالة توزيع احتمالية  $F(M)$  و  $a \leq M_m \leq b$  فإن الصيغة العامة لاحتمال دالة التوزيع الاحتمالية للاحصاء المرتب من الرتبة  $m$  هي :

$$h_m(M) = \frac{n!}{(n-m)! (m-1)!} F_m^{m-1}(M) [1 - F_m(M)]^{n-m} f_m(M) \quad \dots (24)$$

ومما يمكن ملاحظة أن العلاقة (24) تعتمد على التوزيع الأساسي للمتغير  $M$  وحجم العينة  $n$  والدرجة  $m$ .

إن دالة التوزيع الاحتمالية للقيم القصوى يمكن التوصل لها من العلاقة (24) بكتابة التالي :

$$\left. \begin{aligned} h_n(M) &= n [F_n(M)]^{n-1} f_n(M) & a \leq M_n \leq b \\ h_1(M) &= n [1 - F_n(M)]^{n-1} f_1(M) & a \leq M_1 \leq b \end{aligned} \right\} \dots (25)$$

وباجراء عطية التفاضل على العلاقة (25) يمكن التوصل الى دالة التوزيع للقيم القصوى :

$$\left. \begin{aligned} H_n(M) &= [F_n(M)]^n \\ H_1(M) &= 1 - [1 - F_1(M)]^n \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{نفس مجال التغير} \\ \text{للمعادلة (25)} \end{array} \dots (26)$$

تقسم التوزيعات الاحتمالية الى ثلاثة أنواع :

Exponential Distribution	التوزيع الأسّي	—
Cauchy Distribution	توزيع كوشي	—
Bounded Distribution	التوزيع المحدود	—

تقع التوزيعات الطبيعية (Normal) واللوغاريتمية الطبيعية وتوزيع كاما (Gamma) ضمن التوزيعات الاسية ، بينما تقع توزيعات كوشي غير المحددة وباريتو (Pareto) ضمن توزيعات كوشي أما التوزيع المنتظم (Uniform) وتوزيع بيتا (Beta) فهما أمثلة على التوزيعات المحددة .

استنادا الى هذه الانواع من التوزيعات تمكن كمل ( ١٩٥٨ ) ( Gumbel, 1958 ) من ايجاد ثلاثة توزيعات تقاربية (Asymptotic) للقيم القصوى سميت على اسمه وهي التوزيع الاول والثاني والثالث اعتمادا على التوزيعات الاساسية التالية : الاسية وكوشي والمحددة وهي

على التوالي :

: (Gumbel Type I)

توزيع كيمبل الاول

$$G_n^I(M) = \exp \left[ -\exp - \alpha_n (M - U_n) \right] \quad \dots(27)$$

: (Gumbel Type II)

توزيع كيمبل الثاني

$$G_n^{II}(M) = \exp \left[ -(U_n - E/M - E)^{k_n} \right] \quad \dots(28)$$

: (Gumbel Type III)

توزيع كيمبل الثالث

$$G_n^{III}(M) = \exp \left[ -(W - M/W - U_n)^{k_n} \right] \quad \dots(29)$$

(Extremal Intensity Function)

حيث :  $\alpha_n$  = دالة الكثافة القصوى

(Lower Limit)

 $E$  = الحد الاسفل

(Upper Limit)

 $W$  = الحد الاعلى

(Characteristic Extreme)

 $U_n$  = الصفة المميزة القصوى

(Shape Parameter)

 $k_n$  = معلمة الشكل

من خلال ما تقدم يتضح بأنه يمكن تطبيق نظرية القيم القصوى لايجاد الحد الاعلى لمقدار الزلزال ، وذلك عن طريق تحليل السلسلة الزمنية لقادير الهزات الارضية الحادثة فعلا في منطقة ما استنادا الى العتبة الزلزالية المتوفرة لتلك المنطقة . بتقسيم العينة الزمنية لفترة التسجيل الى مراحل متساوية ( عادة سنة واحدة ) واستخراج أكبر مقدار للزلزال في تلك السنة ثم ادراجها زمنيا تتكون لدينا قاعدة بيانات يمكن استعمالها في عملية تحليل القيم القصوى .



كما ذكرنا سابقا فإن المعادلة (27) تفترض أن التوزيع الأساسي لقدار الهزات الأرضية غير محدد ومن النوع الأساسي • بينما المعادلة (28) تفترض التوزيع الأساسي محدد من الجهة السفلى ومن نوع كوشي • أما المعادلة (29) تفترض التوزيع الأساسي محدد من الجهة العليا ومن النوع المحددة • هذا ولما كان الحد الأسفل لتوزيع القيم القصوى لقدار الزلازل غير مهم بالنسبة للخطوة التي تشكلها الهزات ذات القادير الصغيرة فإن تطبيق المعادلة (28) غير مجدى ولا فائدة من استخدامها • وذلك فإن الاهتمام ينصب عادة على التوزيعين الأول والثالث •

بأخذ اللوغاريتم المضاط يمكن تحويل التوزيع التقاربي الأول إلى صيغة خطية والتوزيع التقاربي الثالث إلى صيغة لوغاريتمية • حيث :

$$-\ln [-\ln G^I(X)] = \alpha (X - U)$$

$$-\ln [-\ln G^{III}(X)] = k [\ln (W - U) - \ln (W - X)]$$

بعد أن يتم تسقيط البيانات الفعلية على أوراق لوغاريتمية مضاطعة ( تسمى أيضا بأوراق كيمبل الاحتمالية ) بحيث يمثل محورهما الشاقولي مقدار الزلزال ومحورها الأفقي الحد  $-\ln [-\ln G(X)]$  . نستطيع تحديد بصورة أولية التوزيع الذى يمثل الظاهرة أفضل تمثيل • فإذا اقترب انتشار المشاهدات من الخط المستقيم فإن العينة تخضع للتوزيع التقاربي الأول • أما إذا اقترب انتشار المشاهدات من منحنى محدب ( إلى الأعلى ) فأن الظاهرة تتبع التوزيع التقاربي الثالث •

يمكن الاستفادة أيضا من نظرية القيم القصوى في تقدير الحد الأعلى لقدار الزلازل خمسينات فترة محددة • فإذا كان توزيع القيم القصوى لقدار الزلازل  $G(M)$  فأن :

$$P(M) = 1 - G(M)$$

وإن متوسط عدد السنوات الكافية لحدوث هزة أرضية من القدار أكبر من أو يساوى  $M$  أو الحدوث الدورى للهزات الأرضية (Return Period) طاسا بالسنتين من القدار  $M$  يمكن كتابتها كالتالى :

$$T(M) = [1 - G(M)]^{-1} \quad \dots (30)$$

بمعيبر اخروفاً مقدار الزلزال  $M$  الذي يقابل  $T(M)$  معينة يمثل الحد الاعلى لمقدار الزلزال خلال تلك الفترة •

يقين أن نذكر شي من تقدير معالم التوزيعات التقاربية • فهناك عدة طرق لتقدير معالم التوزيعات التقاربية ( Estimating Parameters ) من أهمها طريقة المربعات الصغرى (Least Squares) وطريقة الامكان الاعظم (Maximum Likelihood) • وتعتمد الطريقة الاولى على جعل مجموع مربعات الفروق بين القيم المشاهدة والقدرة اقل ما يمكن • بينما تعتمد الطريقة الثانية على جعل ما يسمى بالدالة المشتركة اعظم ما يمكن •

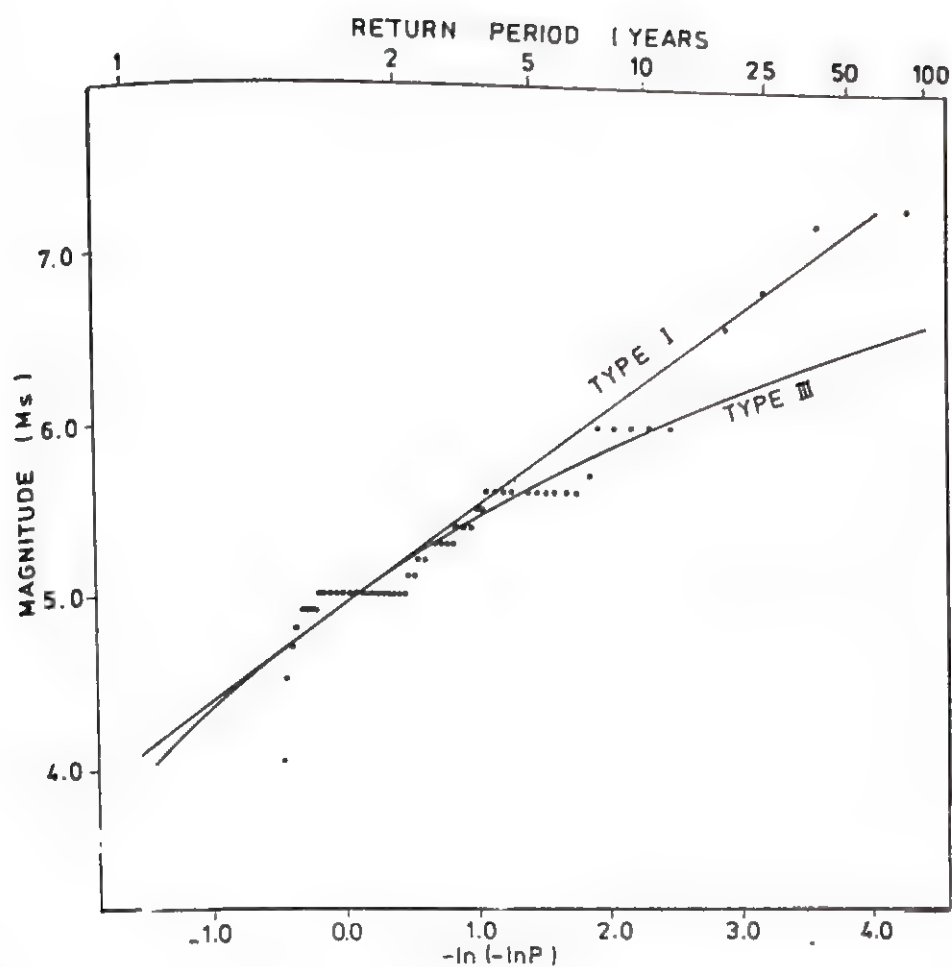
١٠٨٠٥ التوزيعات التقاربية لتقادير الهزات الارضية القصوى في العراق

Maximum Magnitude Asymptotic Distributions for Earthquakes in Iraq

لقد تم تقدير معالم التوزيعين الاول والثالث لكامل اعتماداً على الطقة الزلزالية فسيحي العراق من قبل العباسي وفهبي ( ١٩٨٥ ) ( Al-Abbasi and Fahmi, 1985 ) • حيث تم تهيئة القيم القصوى السنوية للتقادير بتقسيم العينة الزمنية البالغة ٧٨ سنة الى فترات متساوية باختيار اقصى مقدار للهزات الارضية التي حدثت في كل عام • بعد ذلك تم تقدير معالم التوزيعين الاول والثالث بطريقتي المربعات الصغرى والامكان الاعظم ( باستعمال برنامج حاسبة لهذا الغرض ) • يوضح الشكل رقم ( ٧ ) ماتم التوصل له بالنسبة لتقدير المربعات الصغرى • بينما يمثل الجدول رقم ( ٣ ) الحدوث الدوري المشاهد والقدرة لتقادير الزلازل القصوى في العراق •

الحدوث الدوري $T(M)$ ( بالسنين )	الحدوث القدر	الحدوث المشاهد	أقصى مقدار الزلازل (M)
1.0	1.0	1.2	4.0
1.1	1.1	1.3	4.5
1.7	1.8	1.7	5.0
3.7	3.6	3.3	5.5
12.0	7.9	7.9	6.0
67.0	18.5	19.8	6.5
1096.0	44.5	39.5	7.0
-	108.0	-	7.5

جدول رقم (٣) الحدوث الدوري المشاهد والقدرة بطريقة المربعات الصغرى لتقادير الزلازل القصوى فسيحي العراق (From Al-Abbasi and Fahmi, 1985 )



شكل ( ٧ ) التوزيعات التقاربية لمقادير الهزات الأرضية القصوى في العراق  
مرتبة على مقياس لوغاريتمي مضاعف ومقدرة بطريقة المربعات  
الصغرى • (From Al-Abbasi and Fahmi, 1985)

كما سبق ذكره فإن الهزات الأرضية تؤدي إلى انطلاق طاقة حركية هائلة على شكل موجات زلزالية منها موجات سطحية وأخرى باطنية أو جسمية طولية وعرضية والآخرى هي السحب الرئيسية في التدمير والخسائر التي تتعرض لها المنشآت • ومن خلال تحليل الحركة الأرضية نحصل على مركبات أفقية وأخرى عمودية في جميع الاتجاهات • ويبدو ذلك جليا من دراسة الأرصاد والسجلات الزلزالية • من نتائج هذه الحركة حصول إزاحات (Displacements) كما أن ارتجاج سطح الأرض يهزم بسرعة وتعجيل (Velocity and Acceleration) يعتمدان على مقدار الهزة والبعد البؤري من جهة وعلى طبيعة المنطقة جيولوجيا وتكونيا من جهة أخرى ، حيث تتلاشى وتتوهن هذه الحركة كلما زاد البعد عن البؤرة المذكورة •

لقد قام علماء الزلازل ومهندسي الهزات الأرضية باشتقاق عددا كبيرا من معادلات التوهين هذه (Attenuation Laws) اعتمادا على المعلومات المتوفرة لأقصى طاقة مسجلة في العراصد والتي تعطي نتائج جيدة في مناطق مختلطة من العالم استنادا إلى كمية ونوعية المعلومات الزلزالية المستخرجة وتحليلها وعلى النظريات المتوفرة لمصدر الزلزال • لذا فإنه من الضروري عند دراسة زلزالية منطقة ما استعمال أكبر عدد ممكن من معادلات التوهين هذه ومن ثم دراسة النتائج على ضوء ما سجل فعلا من أرصاد للمنطقة وتاريخها الزلزالي •

يمكن تقدير تأثيرات الزلازل ( ذات مقدار معين ) على موقع جغرافي معين من خلال إيجاد علاقة رياضية وضعية بين التعجيل الأقصى المتوقع من (Maximum Expected Ground Acceleration) في الموقع نتيجة حدوث هزة أرضية افتراضية ( تسمى بالهزة التصميمية (Design Earthquake) هذا ويمكن كتابة العلاقة الرياضية بشكل معادلة أسية عامة :

$$f(M) = \alpha \exp(\beta M) / R^\gamma \quad \dots(31)$$

حيث :  $f(M)$  هي دالة المقدار ( أى الطاقة الواصلة ) في الموقع تحت الدراسة نتيجة حدوث زلزال معين وهي تتناسب مع الإزاحة  $(x, \text{cm})$  أو السرعة  $(\dot{x}, \text{cm/s})$  أو التعجيل  $(\ddot{x}, \text{cm/s}^2)$  الأرضي الأقصى المتوقع في الموقع • ( علما أن :  $\dot{x} = dx/dt$  ;  $\ddot{x} = d^2x/dt^2$  )

$\alpha$  ،  $\beta$  ،  $\gamma$  هي ثوابت المعادلة وتعتمد بشكل رئيسي على  $f(M)$  وعلى كمية

ونسوع المعلومات الزلزالية المستخدمة •

(Focal or Hypocentral Distance)

R : البعد البؤري

هناك عدد من معادلات التوهين تم التوصل اليها خلال العقدين الماضيين يمكن من خلالها تقدير التعجيل الارضي المتوقع وتعتبر هذه المعادلات عامة وشاملة لكافة أنحاء العالم (Global Attenuation Laws) هذا وتدرج في الجدول رقم ( ٤ ) أهم هذه المعادلات المعتمدة حالياً في التطبيق مبدئياً كل منها المصدر الذي تم استخراج المعلومات منه :

صيغة الحد R	الحد $\gamma$	الحد $\beta$	الحد $\alpha$	المعلومات
R	2.0	0.8	2000	Esteva (1967)
R + 25	1.32	0.5	1080	Donovan (1973)
R + 40	2.0	0.8	5600	Esteva (1974)
R + 25	1.3	0.64	472	McGuire (1974)
R	1.1	1.45	2.88	Ambraseys (1975)
R + 25	0.92	1.46	1.33	Ambraseys (1978)

جدول رقم ( ٤ )

القيم الثابتة لأهم معادلات التوهين ( حسب المعادلة - ٣١ )

المطبقة في العالم في الوقت الحاضر \*

لقد توصل كذلك دونيفان وهورشتاين ( ١٩٧٨ ) ( Donovan & Bornstein, 1978 ) الى أحدث معادلة للتوهين تمكن الباحثان من خلالها ربط البعد البؤري للزلازل بقيم الثوابت  $\alpha$  ،  $\beta$  ،  $\gamma$  بشكل أكثر دقة :

$$\ddot{x} = b_1 \exp (b_2 M) / (R + 25) b_3 \dots (32)$$



$$2154 \times 10^3 / R^{2.1} = b_1 \quad \text{حيث :}$$

$$0.046 + 0.445 \log R = b_2$$

$$2.515 - 0.486 \log R = b_3$$

من جهة أخرى فمن الممكن التعبير رياضياً عن ترابط التعجيل الأرضي المتوقع بأقصى شدة زلزالية تسم تخمينها في الموقع . فلو استذكرنا المعادلة رقم ( ٥ ) نجد بأن العلماء المختصين أوجدوا صيغة وضعية بين التعجيل والشدة الزلزالية ، وهناك عدة معادلات تستخدم في الوقت الحاضر وأهمها ما يلي :

— معادلة ميلن ودافنبورت ( ١٩٦٩ ) (Milne and Davenport, 1969)

$$\log_{10} \ddot{x} = I/3 - 1.5 \quad \dots(33)$$

— معادلة ترايفوناك وبريدى ( ١٩٧٥ ) (Trifunac and Brady, 1975)

$$\left. \begin{aligned} \log_{10} \ddot{x}_{(H)} &= I/3 - 0.014 \\ \log_{10} \ddot{x}_{(V)} &= I/3 - 0.18 \end{aligned} \right\} \quad \dots(34)$$

حيث : H و V تعني قياس التعجيل الأرضي بالاتجاهين الأفقي والعمودي على التوالي .

هذا ومن الممكن تطبيق المعادلة رقم (34) للشدة الزلزالية التي تقع بين 4 إلى 10 درجات على قياس مركالي المعدل ( راجع الجدول رقم — ١ ) .

ولا بد من التأكيد مرة أخرى بأن الوضعية الجيولوجية للموقع وخواص التربة فيه لها التأثير البالغ والكبير على القيم الفعلية للتعجيل الأرضي وسرعة العوجات الزلزالية ، حيث من المعلوم بأن في حالات الهزات القويمة التي تتجاوز في شدتها ( ٥ ) درجات على قياس مركالي المعدل فإن قيمة التعجيل الأقصى في التربة الصلبة (Hard Soil) تكون حوالي ضعف قيمته في الصخور الرخوة أو التربة الرسوبية (Loose Soil) . حيث أثبت ذلك خلال الأعوام العشرة الماضية من تحليل ارساد مخططة مسجلة في أوروبا وغرب الولايات المتحدة الأمريكية ، كذلك هو الحال بالنسبة

للزلاجات ، حيث ان الازاحة القصوى في الترب الرخوة تبلغ حوالي ضعف ما تبلغه في الترب الملبسة ،  
لذلك فان الاحتياج المهم الذي يمكن التوصل اليه هو أن نوعية تربة الاسس لها التأثير الكبير  
على صوامع المنشآت الهندسية كالسدود مثلاً عند دراسة الاستقرار الديناميكية لها .

الباب الثاني  
التأثيرات الفعلية على السدود والمنحدرات الطبيعية

Part Two

Actual Effects on Dams and Natural Slopes

ان الهدف النهائي من دراسة تأثيرات الزلازل على السدود هو التأكيد بما لا يقبل الشك من السلامة المطلقة لهذه السدود سواء القائمة منها أو المخطط لاقامتها . كما أن الخبرة المكثفة من تصميم السدود الكبيرة القائمة تعتمد الاساس لتصميم السدود الجديدة . وأن مراقبة السدود الواقعة تحت تأثير الزلازل وملاحظة مدى ونوع الاضرار الحاصلة فيها تعتبر الخطوة التالية لزيادة هذه الخبرة واقتنائها . ويعتبر الآن في هذا الحقل تجربة جيدة متراكمة من انهيارات بعض السدود إضافة الى الدراسات النظرية والتحريات الموقعية لاكتشاف أسباب وميكانيكية هذه الانهيارات . ولا بد لنا أن نذكر بأن أحد أشكال ميكانيكية تدهام وانهدام السدود تحت تأثير الزلازل ناتج من تصحيع (Liquefaction) المواد المكونة لبعض أو كل أجزاء السد ويعود ذلك الى فقدان مقاومة هذه المواد لقوى القص وبالتالي حصول الانزلاقات في جسم السد . كما أن هناك أسباب عديدة أخرى قد تسبب هذا الفشل . وقد تجتمع عدة أسباب معا لحصول هذا الأمر مما يتطلب دراسة كافة هذه الأمور وبما أن الظروف التي قد تحصل فيها بقصد تلافي وقوعها ، وسوف نتطرق الى بحثها في الأقسام التالية من هذا الفصل . ولا بد في الختام من إعطاء فكرة عن درجة الأمان المحفورة في موقع ما أو في تصميم معين أو ما يعرف ( بالخطورة الزلزالية Seismic Risk ) حيث ان ذلك يقودنا الى تحديد الخطوط العريضة التي سوف يستند عليها تصميم السد لمقاومة هذه التأثيرات وبالتالي يعطينا العنصر الأول لشكل السد ومكوناته ودرجة الضرر التي قد يتعرض لها تحت تأثير الهزات الأرضية المختلفة .

يمكن تعريف الخطورة الزلزالية لموقع معين بمدى إمكانية تعرض الموقع المذكور خلال فترة زمنية معينة لزلازل ذو قوة قصوى محددة . وكذلك تكرار كافة الزلازل الاخرى الاقل قوة خلال تلك الفترة مع مدى التأثيرات السطحية التدميرية التي تصاحب الحركة السطحية للموجات الزلزالية وكما تم شرحه في ( ١٠٩ ) .

ان ما يهم البحث في هذا المجال هو مدى الاضرار والتخريبات التي تحصل جراء هزات الحركة والحد الصريح به منها ، حيث أن تصميم المنشآت الهندسية يجب أن تأخذ هذا الموضوع بنظر الاعتبار لتقليل الضرر الى أقل درجة ممكنة وضمن حدود اقتصادية .

ان فلسفة تصميم السدود الحديثة تعتمد هذين المبدأين ، أي السلامة والكلفة الاقتصادية كأساسين لتحديد مدى الخطورة الزلزالية الواجب اعتادها للتصميم وأن هذا مطلق مسبق



توصية المؤتمر العالمي للسدود العالية ( ICOLD ) حيث يعتمد التصميم مستويين لخطورة الهزات الأرضية :

### المستوى الأول ( وهو المستوى الاوطأ )

ويعرف بمستوى الهزة الأرضية التصميمية (Design Earthquake) : وهذالك المستوى من الهزات الأرضية الذي لا يسمح فيه بحصول أى ضرر للسد أو منشاته ، لذا فعند اجراء حسابات الاستقرار الديناميكية (Dynamic Stability) يتم اختيار معاملات الامان بحيث تكون جميع الاجهادات ضمن حدود المرونة (Elastic Limits) ولا يسمح بحصول أى تشوه دائم ، و عليه يجب أن لا يلحق بالسد أو منشاته في هذا المستوى أى ضرر قد يؤثر على تشغيله خلال أو بعد الهزة التصميمية .

### المستوى الثاني ( وهو المستوى الاعلى )

ويظل هذا المستوى الهزة الأرضية القصوى الممكنة (Maximum Credible Earthquake) وان مفهوم هذه الهزة يشابه من وجوه كثيرة مفهوم الفيضان الاقصى المحتمل (Maximum Probable Flood) في حسابات الفيضانات . وهي أقصى هزة أرضية ممكنة الحدوث على الاطلاق في موقع السد أو المناطق القريبة منه . وطعب جيولوجية المنطقة وتكوينها التكتوني مثل وجود الفوالق النشطة وشكلها وطوبوغرافية الارض وتركيبها الجيولوجي الدور الرئيس في تحديد خطورة الهزة .

هذا ويتم ضمن هذا المستوى اختيار معاملات الامان في حسابات الاستقرار الديناميكية بحيث يسمح بحصول الاجهادات والتشوهات الدائمة ( أى خارج حدود المرونة ) وعلى شرط أن لا تؤثر الاجهادات والتشوهات على سلامة السد ولا تسبب تداعيه أو انهياره . ويكون من الطبيعي أن يحتاج السد ومنشاته بعد وقوع مثل هذه الهزة الى أعمال تصليح لجعلها تقوم بعطها الاصلي الذي كانت صفة من أجله ، وهذا فأن التصميم يأخذ بعين الاعتبار في هذا المستوى حصول بعض الاضرار وان اختيار معامل الامان لتحديد مدى الخطورة الزلزالية الممكن تحملها ومدى الاضرار المتوقعة فيها مسي مسألة اقتصادية . والأمر الاساسي في هذا الموضوع هو عدم السماح بالانهيار السد ، حيث أن الاضرار الناجمة عن هذا الانهيار وخاصة بالنسبة ( للارواح ) تعتبر عالية . وقد لا يمكن تقييمها بمعايير اقتصادية ، اضافة الى الاعتبارات الاجتماعية والسيكولوجية التي تحتتم عدم حصول مثل هذا الشيء .

وخلاصة القول فأن بحث الخطورة الزلزالية بالنسبة للمنشآت الهندسية وخاصة السدود يتعدى ايجاد احتمالات وقوع الزلازل المخططة وقدارها الى مدى الاضرار المتوقعة . ويرتبط ذلك بتصميم المنشأ أو السد نفسه .

هناك أسلوبان لدراسة جوانب الخطورة الزلزالية وتحديد الهزة الأرضية التصميمية :

(Deterministic Procedure)

(Probabilistic Procedure)

(أ) الأسلوب الحتمي

(ب) الأسلوب الاحتمالي

يتضمن الأسلوب الحتمي دراسة الجيولوجية الأساسية للمنطقة وتكوينها التكتوني ، وذلك ضمن دائرة نصف قطرها حوالي ( ٣٠٠ ) كيلو متر عادة ، ويمكن أخذ نصف قطر أكبر في حالة وجود مستوى زلزالية قوية مرصودة ( في مناطق يزيد بعدها عن ذلك بقصد ادخال هذه البومر ضمن منطقة الدراسة ) • ثم تقسم هذه المنطقة الى المناطق التكتونية الزلزالية المختلفة ( Seismotectonic zones ) المكونة لها ، وتدرس كل من هذه المناطق بتعيين حدودها على الخارطة ، ثم تحدد مواقع الفوالق النشطة • وتتم دراسة السجل التاريخي للهزات فيها • فتحدد وترسم بومر الزلازل ويتم تخمين شدتها في حالة عدم وجود أرصاد مسجلة لها • ويتم بعد ذلك اختيار عدد من الهزات الكبيرة من ضمنها وتجرى عملية تعظيم (Maximization) لتأثيرات هذه الهزات بالنسبة لموقع السد ، وذلك بأن يتم نقل بومر هذه الزلازل على طول الفوالق والى أقرب نقطة للفالق من موقع السد ، ثم باستعمال معادلات التوهين المناسبة تحدد شدة الهزة وتأثيراتها الحركية على موقع السد • ونتيجة لذلك نحصل على عدد من الهزات الكبيرة المفترضة الوقوع في أقرب موقع السد • حيث يتم اختيار الهزة ذات أشد التأثيرات على الموقع من بين هذه الهزات ويتم اعتمادها كهزة تصميمية (DE) ويمكن توضيح هذه العملية بالشكل رقم ( ٨ ) •

نرى مما تقدم أعلاه بأن هذا الأسلوب رغم اعطائه الهزة الأرضية التصميمية للموقع إلا أنه لا يحدد احتمالات حصول مثل هذه الهزة وبالتالي لا يعطينا مقياساً دقيقاً لمدى الخطورة المتوقعة في اعتماد هذه الهزة ، ولذلك يفضل الأسلوب الاحتمالي في كثير من الحالات ، حيث أن الأسلوب الأخير يعطينا معدل تكرار الهزات الأرضية المختلفة في الموقع •

في الأسلوب الاحتمالي هناك عدد من الخطوات الواجب اتباعها وكما يلي :

(أ) يتم تحديد المنطقة المحيطة بالسد على الخرائط وكما هو الحال في ( الأسلوب الحتمي ) كما

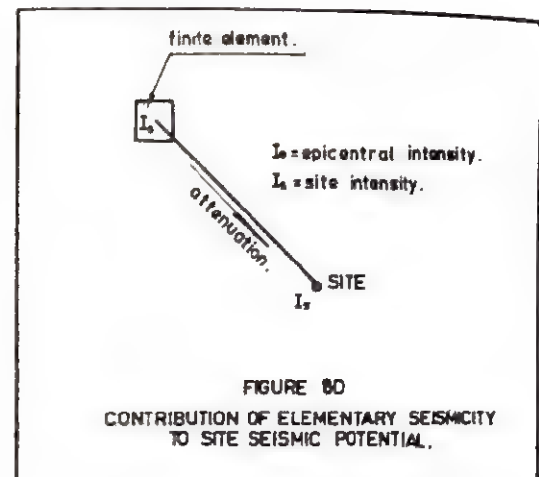
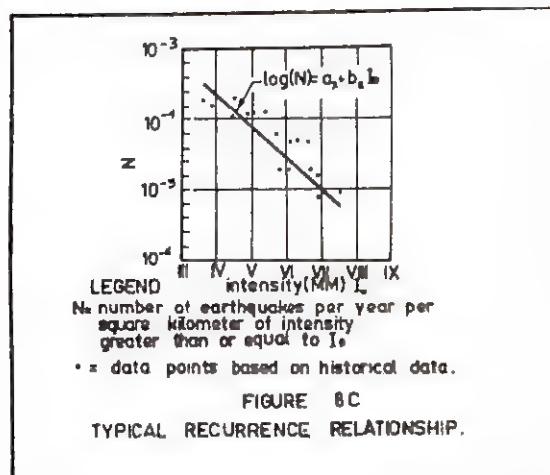
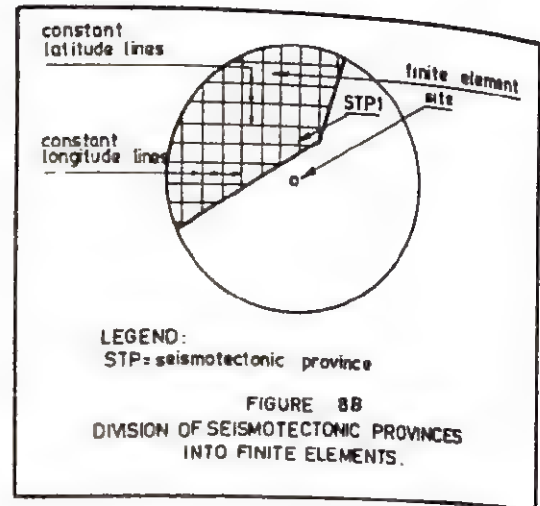
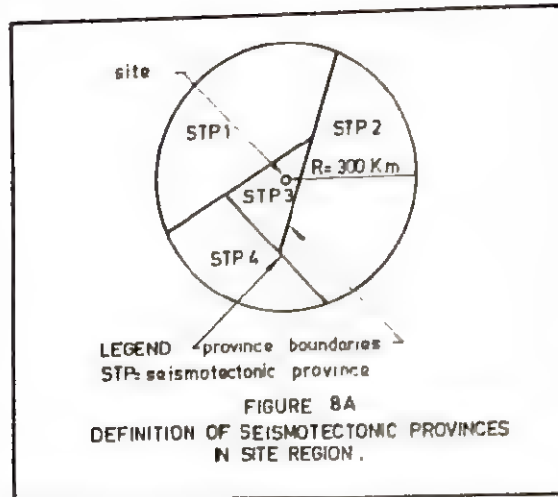
يتم تقسيم هذه المنطقة الى مناطق تكتونية زلزالية مختلفة أيضاً •

(ب) يتم تقسيم كل منطقة تكتونية زلزالية حسب خطوط الطول والعرض العارة بها الى شبكة من

القطع (Elements) •

(ج) يفترض بأن الفعالية الزلزالية لكل قطعة موزعة بصورة منتظمة في تلك القطعة ، وعليه يمكن

افتراض ان هذه الفعالية متركزة في مركز القطعة لخرس الحسابات •



شكل (أ) - دراسة الخطوة الزلزالية لموقع معين بسبب الهزات الأرضية  
في المنطقة المحيطة به .

د) يتم اشتقاق معادلة التكرار ( حسب نموذج بواسون ) لكل قطعة ، اما بدلالة الشدة أو بدلالة المقدار اذا ما توفرت الارصاد المسجلة الكافية ، وذلك بعد دراسة السجل الزلزالي لكل منها ويكون :

$$\log (N_{kj}) = a_k + b_k I_0$$

حيث أن (k) يرمز للمنطقة التكتونية الزلزالية و (j) تمثل القطعة ذات العلاقة و (a<sub>k</sub>) و (b<sub>k</sub>) ثوابت معادلة بواسون للمنطقة ، كما أن (N) هو عدد الهزات التراكمي لكل كيلومتر مربع . ويمكن كتابة المعادلة بالشكل التالي :

$$N(kj) = A_j \left[ 10^{(a_k + b_k I_0)} \right] \quad \dots(35)$$

حيث أن (A<sub>j</sub>) تمثل مساحة القطعة (j) بالكيلومترات المربعة .

هـ) بافتراض ان قياس الشدة مستمر وباعتماد فترة لهذا القياس بمقدار ( ٢٠ ) فإن محدود قيمة معينة للشدة (I) على هذا القياس تكون من (I - 0.1) الى (I + 0.1) ، وحيث ان المعادلة اعلاه تعطينا العدد التراكمي للهزات من صفر لغاية (N) فإن عدد الهزات للشدة (I) فقط يكون :

$$N(kj) = A_j \left[ 10^{a_k + b_k(I+0.1)} - 10^{a_k + b_k(I-0.1)} \right] \quad \dots(36)$$

و) باستعمال علاقات التوهين الخاصة بالمنطقة وبمعرفة المسافة بين القطعة (j) وموقع السد يمكننا تحديد الشدة (I<sub>js</sub>) في موقع السد الناجمة عن (I<sub>j</sub>) . ويمكننا أن نعرف من التكرارات للقطع تكرار الهزات (N(I<sub>s</sub>)) للموقع ككل وتكون فترة التكرار (T<sub>s</sub>) :

$$T_s = \frac{1}{N(I_s)} \quad \dots(37)$$

كما يمكننا اشتقاق قيمة التعجيل بموجب المعادلات الواردة في ( ١٠٩ ) من الفصل الأول . وهذا الاسلوب يمكن اعطاء صورة واضحة لزلزالية المنطقة المحيطة بموقع السد والتأثيرات التراكمية للمنطقة ككل على الموقع المذكور مع تكرارات الهزات ذات الشدة أو القادير المختلفة .



لم يتم تركيز الاهتمام على موضوع الخطورة الزلزالية في العراق الا مؤخراً ، حيث أظهرت المشاريع التنموية الطموحة في القطر خلال الخمس سنوات الماضية الحاجة لوضع معايير محددة تستند على الواقع الزلزالي المحيط بالعراق من أجل احتساب مستويات الخطورة الزلزالية المتوسطة أو حتى الواطئة منها ولعموم البلاد .

قبل مباشرة وحدة الرصد الزلزالي عام ١٩٨٢ بمشاريعها البحثية الموجهة لتحديد المعاملات الزلزالية الهندسية للقطر ، ومنذ منتصف السبعينات اجريت عدة أبحاث في مجال الهندسة الزلزالية كان أولها دراسة ( السنوي وغالب عام ١٩٧٥ ) ( Alsinawi and Ghalib, 1975 c ) ، حيث تم تجميع أول خارطة للشدة الزلزالية من خلال دراسات أقليمية سابقة . من جهة أخرى فإن بحث ( السنوي والعمري عام ١٩٨٠ ) ( Alsinawi and Almoosawi, 1980 ) وعلى الرغم من احتوائه على كثير من التناقض العلمي في الأساليب المستخدمة والنتائج المستخرجة ، الا أنه يعتبر أول خطوة جادة على طريق تقنين الخطورة الزلزالية في القطر العراقي .

هناك دراسات أحدث تمت في تقييم خطورة الهزات الأرضية في العراق باستعمال الأسلوب المحدد مع الأخذ بنظر الاعتبار فترة التكرار ، حيث تم ارتسام التوزيع الجغرافي لمخاطر الهزات الأرضية ( باستعمال معادلة الشدة الزلزالية ) للعراق بتثبيت الهزة الأرضية التصميمية والهزة الأرضية القصوى الممكنة ( Al-Abbasi, 1984 ) ،

أما فيما يخص الأسلوب الاحتمالي فهناك دراسة ( محمود وعبد الرضا ١٩٨٤ ) ( Mahmood and Al-Ridha, 1984 ) التي تعطي التعجيل الأقصى ( المحتمل ) الممكنة مناطق رئيسية في شمال العراق هي السليمانية ودوكان ودرند خان والعوصل وكوكوك وأربيل ) باستخدام نموذج بواسون ضمن فترات تكرار مختلفة ( ومستوى خطورة يتراوح بين ١٠% - ٩٩% ) وثلاثة أعمار اقتصادية للمباني وللعمارة : عشرون وخمسون ومائة عام . ومن الخيد هنا درج أهم النتائج التي توصل اليها الباحثان وهي مبيحة في الجداول ( ٥ ) و ( ٦ ) و ( ٧ ) .

#### ٢٠٤ تأثيرات الزلازل على السدود القائمة (Earthquake Effects on Existing Dams)

تأثر السدود القائمة بالهزات الأرضية حسب مقدارها وحسب الأسس التصميمية التي قد تسم اتباعها في تصاميم هذه السدود إضافة الى تضافر العوامل الطبوغرافية والجيولوجية لموقع السدود أو الخزان .

التعجيل الأرضي الأقصى المحتمل (نسبة لوحدة واحدة من التعجيل الأرضي)						فترة التكرار (سنتين)	مستوى الخطورة (بالطة)
السليمانية	دوكان	دربندخان	موصل	كركوك	اربيل		
0.180	0.175	0.165	0.170	0.095	0.080	190	10
0.120	0.110	0.110	0.140	0.070	0.068	90	20
0.095	0.085	0.087	0.112	0.070	0.055	57	30
0.075	0.070	0.070	0.095	0.050	0.050	40	40
0.067	0.060	0.060	0.080	0.050	0.050	29	50
0.050	0.055	-	0.065	-	-	22	60
-	-	-	0.055	-	-	17	70
-	-	-	0.050	-	-	13	80
-	-	-	-	-	-	9	90
-	-	-	-	-	-	7	95
-	-	-	-	-	-	5	99
-	-	-	-	-	-	4	99.5

جدول ( ٥ ) العمر الاقتصادي = ٢٠ سنة ( - = أقل من ٠.٠٥٥ )

التعجيل الأرضي الأقصى المحتمل (نسبة لوحدة واحدة من التعجيل الأرضي)						فترة التكرار (سنتين)	مستوى الخطورة (بالطة)
السليمانية	دوكان	دربندخان	موصل	كركوك	اربيل		
0.256	0.260	0.245	0.190	0.140	0.110	475	10
0.195	0.187	0.185	0.175	0.100	0.085	225	20
0.155	0.150	0.135	0.155	0.087	0.070	150	30
0.125	0.120	0.115	0.140	0.070	0.060	98	40
0.105	0.100	0.100	0.125	0.060	0.055	72	50
0.090	0.085	0.085	0.010	0.055	0.052	55	60
0.080	0.075	0.075	0.095	0.050	0.050	42	70
0.065	0.063	0.055	0.080	0.050	0.050	31	80
0.050	0.050	0.050	0.065	-	-	22	90
-	0.050	-	0.060	-	-	18	95
-	-	-	-	-	-	11	99
-	-	-	-	-	-	10	99.5

جدول ( ٦ ) العمر الاقتصادي = ٥٠ سنة

التعجيل الأرضي الأقصى المحتمل (نسبة لوحدة واحدة من التعجيل الأرضي)						فترة التكرار (سنة)	مستوى الخطورة (بالمة)
السليمانية	دوكان	دريندخان	وصل	كركوك	اربيل		
0.325	0.315	0.287	0.200	0.150	0.137	950	10
0.255	0.250	0.235	0.195	0.135	0.110	449	20
0.215	0.210	0.195	0.175	0.110	0.090	281	30
0.175	0.175	0.165	0.165	0.095	0.075	196	40
0.155	0.150	0.140	0.155	0.085	0.070	145	50
0.135	0.130	0.120	0.142	0.075	0.065	110	60
0.115	0.105	0.105	0.125	0.070	0.065	84	70
0.095	0.090	0.090	0.112	0.060	0.055	63	80
0.080	0.075	0.075	0.100	0.055	0.050	44	90
0.071	0.065	0.065	0.085	0.050	0.050	4	95
0.050	0.055	0.055	0.070	-	-	22	99
-	0.050	0.050	0.065	-	-	19	99.5

جدول ( ٧ ) العمر الاقتصادي = ١٠٠ سنة

التعجيل الأرضي الأقصى المحتمل في شمال العراق (From Mahmood & Al-Ridha, 1984)

هناك عدة طرق محتطة لفشل سد ما في ضوء ما ذكرناه اعلاه ويمكن تلخيصها

بما يلي :

- أ) انهيار السد نتيجة لحصول فالق في الأسس ويرتبط هذا بجيولوجية العوة
- ب) انهيار المنحدرات الجانبية للسد نتيجة للحركة الأرضية ويمكن ملاقة هذا الأمر في مرحلة الدراسات والتصاميم عند إجراء تحليل الاستقرار للمنحدرات • وعلى المصمم أن يأخذ في حساباته أقصى حد ممكن للضغط المسامي (Pore Pressure) في جسم السد ، وكذلك حالة التشبع (Saturation) •

- ج) فقدان الفضاء الصافي (Free Board) وطفح مياه الخزان فوق هامة السد (Dam Crest) بسبب حصول هبوط كلي أو تفاضلي تكتولي للأسس أو للسد نفسه • وإن هذا الموضوع متعلق بتصميم السد نفسه وجيولوجية الأسس ومدى تأثرهما بالهزة التصميمية •

- د) انزلاق السد على طبقة ضعيفة في الأسس نتيجة لفعل القص الناجم عن الهزة •

- هـ) التآكل بسبب الرشح (Piping) من خلال التشققات والتصدعات في جسم السد والناجمة عن الحركة الأرضية وقد تكون هذه التصدعات طولية أو عرضية أو بشكل ازاحات جانبية بين السد واكتافه • وبصورة عامة فإن معالجة موضوع التشققات والتصدعات سواء الناجمة عن الزلازل أو لأسباب أخرى تتم في مرحلة التصميم باختيار مقطع عرضي مناسب للسد مكون من شرائح من المواد المتدرجة اعتباراً من اللب الأصم إلى العرشحات الناعمة ثم العرشحات الخشنة وحتى القشرة الحصوية • ويكون التناسب بحجوم المواد المكونة لهذه الشرائح بحيث تساعد على إندمال التشققات والتصدعات بصورة تلقائية بما يعرف بالاندمال الذاتي (Self healing) •

- و) طفق مياه الخزان فوق هامة السد نتيجة للموج الناتج عن الهزة وما ينتج عن ذلك من تأثيرات تدميرية ومن انجراف وتآكل •

- ز) طفق مياه الخزان فوق هامة السد نتيجة لأنهارات طبيعية للصخور أو انزلاق السفوح داخل الخزان ويفترض أن يكون اختيار موقع السد مبني على دراسة مستفيضة للأحوال الطبيعية لسفوح الخزان لتلاقي مثل هذا الأمر •

- ح) طفق مياه الخزان فوق هامة السد نتيجة لتوقف المسيل أو المنافذ الأخرى عن العمل ويعالج هذا الموضوع بإتخاذ كافة الإجراءات التصميمية لمنع مثل هذا التوقف • كما قد يتضمن إضافة مسيل للطوارئ (Emergency Spillway) ويجب عند إجراء الحسابات ملاحظة

الاتقال الاضافية فوق الاتفاق والمنافذ أو الصيل وبقية المنشآت التي تنجم عن الهبوط  
الفاضلي الحاصل بفعل الهزة •

ان الامور التي أوردناها فيما سبق يمكن ملاحظتها عن طريق التخطيط الجيد والدراسات  
المستفيضة عند اختيار موقع السد أو شكله أو تفاصيله ويمكننا أن نوجز فيما يلي بعض الاجراءات  
الاحترازية اضافة الى ما سبق ذكره :

- أ - تجنب الفوالق النشطة في أسس السدود عند اختيار مواقعها •
- ب - جعل الفضاء الصافي بين أعلى منسوب للخزن وهامة السد كاف لتلاقي أي تناقص فيه  
قد يلجم من ترحل السد (Slumping) نتيجة الهزة الارضية •
- ج - دراسة جيولوجية الموقع بدرجة كبيرة من الدقة والتفصيل واكتشاف أية طبقة ضعيفة  
في الأسس • فاما أن يجري حفرها وازالتها اذا ما كان ذلك ممكنا من الناحية الفنية  
والاقتصادية أو أن تؤخذ بعين الاعتبار عند دراسة وتحليل استقرارية المنحدرات الجانبية  
وقد يعجم عن ذلك جعل التساريح (Slopes) أقل انحدارا وبالتالي زيادة عرض  
قاعدة السد أو قد يقتضي الامراضافة سداد اضافية في مقدم ومؤخر السد (Toe Berms)  
تعمل كاتقال اضافية لزيادة الاستقرارية والحصول على معاملات الامان المطلوبة •
- د - يقتضي فحص المنحدرات الطبيعية والسفوح المجاورة للخزان والتأكد من استقراريتهما  
واستبعاد حصول حركة فيها عند املاء وتفريغ الخزان خاصة اذا ما كانت زلزالية المنطقة  
نشطة ويتم التركيز على دراسة الطبقات والتكوينات الصخرية ذات الانحدار (Dip) المتجه  
نحو الخزان •
- هـ - عند دراسة الاستقرارية للسد ومنشأته يجب تدقيق الاجهادات والغطاوعة السببية بحيث  
تؤخذ كافة العوامل والمؤثرات الديناميكية والاحمال الاضافية الناتجة عن الحركة الزلزالية  
بنظر الاعتبار •
- و - تجنب استعمال المواد الناعمة جدا ( كالرمل الناعم أو الطين ) في اجزاء السد خاصة  
اذا ما كانت منتظمة التدرج ( أي معظمها ذات حجم حبيبي واحد ) ، حيث قد تتعرض  
مثل هذه المواد للتميع (Liquefaction) في حالة حصول هزات أرضية اذا ما كانت  
واقعة في مناطق من السد معرضة للتشبع •
- ز - استعمال طرق السيطرة النوعية الحديثة في الدفن الموصوف (Compacted Fill) ، وذلك  
بقصد الاستفادة من مقاومة هذه المواد للنقص ولاكبر درجة ممكنة مع ملاحظة السيطرة الجيدة



على نسبة الماء في هذا الدفن وتلاهي حصول ضغط مائي عال ، حيث ان ذلك يقلل من مقاومة قوى القمر الناتجة عن الاهتزازات الارضية •

هذا وسوف نورد لاحقا بعض الامثلة لاضرار وقعت لمدود تعرضت لهزات أرضية ، حيث كان الضرر مرصطا بأحد الامور التي شرحناها • كما سنورد أيضا ذكر حالات اخرى لم تعان فيها سدود أية اضرار بسبب ملاحظة القضايا أعلاه واعطائها حقها من الدراسة ووضع الحلول لها سواء في طور الدراسات أو عند التنفيذ •

## ٢٠٥ أمثلة عن تأثيرات الزلازل على الدود الركامية (Examples of Earthquake Effects on Embankment Dams)

سبق وهدنا بأن ملاحظة تأثيرات الزلازل على السدود القائمة ودراسة الاضرار التي تحصل فيها يعملان على اغناء التجربة المتوفرة في هذا الحقل ويؤديان الى تطوير طرق التحليل والتصميم لمعالجة تأثيرات الزلازل التدميرية • وهناك العديد من الحالات التي قد تم تسجيلها ودراستها تلخصها بالجدولين التاليين :

جدول رقم ( ٨ ) خلاصة بالسدود التي تمت دراسة تأثيرات الزلازل عليها

اسم السد ، موقعه وسنة انشائه	الوصف العام	المواد المستعملة
سد أوغستا Augusta شمال شرق أوغستا بولاية جورجيا الأمريكية •	لتوليد الطاقة الكهربائية • يقع على أحد فروع نهر سافانا •	سد ركامي ترابي ذو أسس مكوية من طبقة خفيفة من التربة الرخوة المغطاة لطبقة صخرية صلبة •
سد سان اندرياس San Andreas جنوب شرق سان فرانسيسكو ١٨٧٥ •	ارتفاعه (٩٧) قدم • هامته بعرض ( ٢٥ ) قدم • ميل المنحدر الامامي ( ١ : ٣.٥ ) من جزئين الاول بطول ( ٧٠٥ ) قدم والثاني بطول ( ١٩٢ ) قدم ويفصل بين الجزئين مرتفع طبيعي •	يعمل لون التربة المستعملة بالدفن الى الزرقة نتيجة وجود بقايا معدن السيريكتنايت • تكون أسسه من طبقات متتالية من الرمل والطين والحصي بعمق قدره ( ٤٦ ) قدم حتى الوصول الى الطبقة الصخرية للسد • لب طيني في الوسط يمتد في جسم السد وللأسفل حتى الطبقة الصخرية •

اسم السد ، موقعه وسنة انشائه	الوصف العام	العواد المستعملة
سد كريستال سبرينجز الاعلى Upper Crystal Springs جنوب سان فرانسيسكو ١٨٧٧	ارتفاعه (٩٠) قدم ، مستوى المياه متساوى في القدم والعوضه وذلك لانشاء سد اخر في موضعه .	سد ترايبي ركامي ذو لب طبيعي يتعد في الاساس العتكون من الطين الازرق القليل النفاذية والحصى .
سد سان اندرياس القديم Old San Andreas جنوب سان فرانسيسكو ١٨٧٥	طول هامة السد (١٨٠) قدم ذو ميل عرضه (٥١) قدم مشيد من الطابوق غاطس بكامله خلف سد اخر .	ترايبي ركامي .
سد ساراتوغا Saratoga قرب ساراتوغا . كاليفورنيا	يتكون من سدين صغيرين يفلقان النهايتيين المنخفضتين لسرج طبيعي (Saddle) وقد كان الخزان مطي* عند حصول الهزة .	ترايبي ركامي .
سد بايد مونت رقم (٢) Piedmont No. 2 شمال شرق اوكلاند كاليفورنيا ١٩٠٦	خبرته الهزة عند الانتها* من انشائه وكان الخزان مطي* . مقدم السد مبطن بالكونكريت بسمك (٦) أيج	سد ركامي ترايبي . دفن بفوشات خفيفة تم رشها وحدها .
سد أونو Ono ( ٦٠ ) ميل غرب طوكيو ١٩١٤	ارتفاعه (١٢١) قدم وطول هامة ( ٨٥٠ ) قدم .	سد ركامي ذو لب طبيعي تعمود صخور الامن الى عصب الهياكل .

اسم السد ، موقعه وسنة انشائه	الوصف العام	العواد المستعملة
سد اسالة الماء لمدينة طوكيو Tokyo Water Supply (١٥) ميل غرب طوكيو ١٩٢٣	ارتفاعه (٧٩) قدم وسعة الخزان (١٨٤) مليون متروكعب •	سد ركامي ترابي تم انشاؤه بفرشات ترابية سمك (٦) أنسج أصبحت بعد الحدل (٤) أنسج ويتكون اللب من الطين والحصى •
سد مورايااما الاعلى Upper Murayama (١٢) ميل غرب طوكيو •	خبرته الهزة حمال الانتهاء من انشاؤه وقد كان الخزان فارغ •	سد ركاسي ترابي
سد مورايااما الاسفل Lower Murayama (١٢) ميل غرب طوكيو ١٩٢٢ - ١٩٢٤	خبرته الهزة وهو قيد الانشاء وكان ارتفاعه (٥٢) قدم وهو مصمم لارتفاع (٩٨) قدم وطول هامته (١٩٢٠) قدم وقد كان الخزان فارغ •	سد ركامي ترابي ذو لب ، أسسه ذات تكوينات تعود للحقب الثلاثية
سد شيفيلد Sheffield شمال سانتاباري كاليفورنيا ١٩١٧	ارتفاعه (٣٠) قدم وعرض هامته (٢٥) قدم وطوله (٧٢٠) قدم منحدره الامامي يصل (١ : ٢.٥) وكذلك منحدره الخلفي • عمق الماء في الخزانات (٢٠) قدم •	مبنى بالجرف الهيدروليكي وربما كانت الاماكنات مشبعة بصورة جزئية عند حصول الهزة ذو أسس مكونة من تربة رسوبية بشكل جلايد تغطي الصخور الرطبة •

اسم السد ، وموقعه وسنة انشائه	الوصف العام	المواد المستعملة
سد كوجيوتي Cogote شيلي ١٩٣٨	ارتفاعه (٢٤٦) قدم • ميل المنحدر الامامي (١:١٦) وميل المنحدر الخلفي (١:١) قد اخذت الهزات الارضية بنظر الاعتبار عند تصميمه •	سد ركامي حجري ذو وجه امامي غير نفاذ ومن •
سد اوتانيك Otaniike في جزيرة شيكوكو ، اليابان ١٩٢٠	ارتفاعه (٦٩) قدم وامتده (٢٤) قدم ميل منحدره الامامي (١:٤) وميل منحدره الخلفي (١:٣) عمق المياه فيه (٤٩) قدم •	سد ركامي ترابي ذو لب اسمن وتتكون أسسه من الصخور الرملية •
سد يوبا Yuba شرق مدينة نيفادا ، كاليفورنيا ١٩١٠ - ١٩٤٩ •	ارتفاعه (٢٥) قدم طول امتده (٨٨٠) قدم وعرضها (١٢) قدم المنحدر الامامي بميل (١/٢٥) أما الخلفي فهو بميل (١:١) • وقد تمت زيادة ارتفاعه ومنحدره الخلفي في (١٩٤٩) خربته الهزة وكان مطلوباً بالعام •	ان الجزء المنفذ سنة ١٩١٠ مكون من مواد ترابية مشتقة من تراكيب نارية سامية وقد تم رص الجزء المنفذ سنة ١٩٤٩ وكان أفضل نفاذية ويشتبه بحصول ضغط سامي عال في الجزء القديم أسسه طينية •
سد بونا فيستا Buena Vista جنوب غرب بينكسفيلد كاليفورنيا ١٨٩٠ - ١٩٢٧	ارتفاعه (١٧) قدم وطول امتده ( ٥ ) أميال •	سد ترابي ركامي • أضيف لب طيني لجزء من طوله سنة ١٩٢٧ تحتوي أسسه على تربة جيرية وفجوات •

تتمة الجدول رقم ( ٨ ) :

اسم السد وموقعه وسلة انشائه	الوصف العام	المواد المستعملة
سد دراي كانيون Dry Canyon شمال سوكرز ، كاليفورنيا ١٩١٢ •	ارتفاعه (٦٤) قدم طول هامته (٥٦٠) قدم وعرضها (٢٠) قدم منحدرة الامامي (١ : ٢,٥) أما الخلفي فهو (١ : ٢,٢) •	متعد بالجرف الهيدروليكي
سد جنوب هاي وي South Haiwee يقع جنوب بحيرة اوينز كاليفورنيا ، ١٩١٢ •	ارتفاعه (٩٠) قدم وطول هامته (١٥٠٠) قدم •	متعد بالجرف الهيدروليكي
سد هيبجن Hebgen شمال شرق ويلستون مونتانا ، ١٩١٢ •	ارتفاعه (٨٦) قدم طول هامته (٧٢١) قدم وعرضها ( ٢٠ ) قدم ميل منحدرة الامامي ( ٣ : ١ ) ومنحدرة الخلفي ( ١ : ٢,٥ ) ذولسب كونكريتي يمتد حتى الاساس الصخري •	سد ركامي تراهي ذولسب كونكريتي يقع الجزء الشمالي منه فوق انزلاق ارضي قديم وقسم طفحت المياه فوق هامته عند حصول الهزة •
سد سان فرناندو الاسفل Lower San Fernando شمال سان فرانسيسكو ١٩١٦ ، ١٩٤٠ •	ارتفاع الجزء المنجز في (١٩١٦) هو (١٠٠) قدم وقدم رفعه الى (١٤٠) قدم سنية (١٩٤٠) عرض الهامة (٢٠) قدم وطولها (٢١٨٠) قدم ، ميل المنحدر الامامي (١ : ٢,٥) أما الخلفي فهو (١ : ٢,٥) في الاعلى ويصبح (١ : ٤,٥) في	الجزء الاول من السد متعد بالجرف الهيدروليكي • اما الجزء الثاني فهو ركامي تراهي مرسوم اساسه مكونة من طبقة من الرمل والطيمن الصلب يعمق (٢٥) قدم فوق طبقة من الصخور الرخوة •



## جدول رقم ( ٩ )

الاضوار الناجمة عن الهزات في السدود المذكورة في جدول رقم ( ٨ )

الاضوار	اسم السد ، تاريخ الهزة وشدةها على مقياس ميركالي المعدل
عدد من الصدعات الكبيرة الطولية • وقد ازداد عرض هذه الصدعات نتيجة للتآكل والانجراف • وقد أدى انهيار السد الى فيضان كبير في حوض النهر •	سد اوجستا Augusta ١٨٨٦ ، ٨ درجات
حدثت ازاحة عرضية وافقية بمقدار ٧ أقدام في الفالق فسي الاسم وتشقق سطح الارض • وقد أدى ذلك الى قطع وتدمير الطرق في منطقة التشقق وتدمير برج المآخذ • كما حصلت بعض الصدعات الصغيرة في الهامة وصدعات على الجانبين فسي الاكتاف باتجاه عمودي على محور الهامة •	سد سان اندرياس San Andreas ١٩٠٦ ، ١٠ درجات
حصلت ازاحة افقية في الفالق في النهاية الشرقية من السد • حيث ارتفاع السد ( ٢٠ ) قدم • وقد أدى ذلك الى تدمير الطرق المبطن بالاجرومطول ( ٢٠ ) قدم • كما تقلص طول السد •	سد كريستال سبورنجر الاعلى Upper Crystal Springs ١٩٠٦ ، ٩ درجات
حصلت ازاحة عرضية افقية في الفالق • مع حصول صدع بعرض ( ٢٠ ) أقدام في السيل •	سد سان اندرياس القديم Old San Andreas ١٩٠٦ ، ١٠ درجات
ادت حركة الفالق الى تصدع السدين الكونيين له بصورة معرضية وحصلت تصدعات طولية في السد الشمالي وهبوط في المنحدر الامامي له • وقد تدفقت مياه الخزان نتيجة لتكسر المخرج الانبوبي الموجود في السد الجنوبي وكان مصنوعا من الحديد الزهر وبقطر ( ١٠ ) أنجات • وقد نتج عن ذلك تآكل المنحدر الامامي للسد •	سد ساراتوكا Saratoga ١٩٠٦ ، ٩ درجات

تتمتع الجدول رقم ( ٩ ) :

الاضرار	اسم السد ، تاريخ الهزة وشدها على قياس ميركالي المعدل
حصل هبوط فيه بمقدار ( ٦ ) أنجات ، وذلك في جزئ الوسطي . كما حصلت بعض التصدعات الصغيرة عرضيا وطوليا عند احدى نهايتي السد . ولم يتضرر الوجه الكونكريتي للسد .	سد بايد موست الثاني Piedmont No. 2 ١٩٠٦ ، ٧ درجات
تصدع المنحدر الامامي والخلفي طوليا . كما حصل صدع كبير قرب الكف اليسر . وقد كان أكبر التصدعات بعرض ( ٨ ) انجات وعق ( ٣٠ ) قدم على المنحدر الخلفي . أما أقصى هبوط فقد كان ( ٨ ) أنجات .	سد أونو Ono ١٩٢٣ ، ٨ درجات
حصول هبوط في السد بمقدار ( ٨ ) أنجات .	سد اسالة العا لمدينة طوكيو Tokyo Water Supply ١٩٢٣ ، ٨ درجات
مبطت هامة السد بمقدار ( ٨ ) أنجات . كما حصل ترهل ( Slumping ) في المنحدرين الامامي والخلفي . ولم تحدث أي تصدعات .	سد موراياما الاعلى Upper Murayama ١٩٢٣ ، ٨ درجات
حصلت ثلاثة تصدعات طولية قرب الهامة كما حصل بعض التاكل والانجواف في الضفاف . وقد كان أكبر التصدعات بطول ( ٢٢٠ ) قدم وبعق ( ٣٠ ) قدم .	سد موراياما الاسفل Lower Murayama ١٩٢٣ ، ٨ درجات
انزلاق في المنحدر الخلفي للسد وبلغ طول الكتلة المنزلقة ( ٣٠٠ ) قدم . وقد تحركت مسافة ( ١٠٠ ) قدم باتجاه مجرى النهر كما تدفقت المياه وأدى ذلك الى تضرع الخزان .	سد شيفلد Sheffield ١٩٢٥ ، ٨ درجات
هبط السد بمقدار ( ١٣ ) أنج للفترة منذ انشائه ولخاتمة حصول الهزة ، ثم هبط ( ١٥ ) أنج اخرى بسبب الهزة .	سد كوكوتي Cogoti ١٩٤٣ ، ٨ - ٩ درجات

55

اضــــــــــــــــرار	اسم السد ، تاريخ الهزة وشدها على مقياس ميركالي المعدل
<p>هبط السد بمقدار ( ٤ ) أقدام على جانبي حائط المنحدر الكونكريتي مع حصول ازاحة في هذا اللب تتراوح بين ( مفر ) و ( ١ ) قدم أفقيا وعموديا . كما حصلت تصدعات طولية على الهامة قرب الاكتاف . وتدمر الصيل نتيجة الارتجاج والانجراف . كما تاكل جزء من المنحدر الخلفي للسد . هذا وقد كان هناك ازاحة عمودية في الفالق بمقدار ( ١٥ ) قدم وعلى مسافة ( ٥٠٠ ) من الكتف الشمالي .</p>	<p>سد هيبجن Hebgen ١٩٥٩ ، ٧ - ٩ درجات</p>
<p>حصل انزلاق كبير في المنحدر الامامي وقد شمل معظم مسرى الهامة وبعث ( ٣٠ ) قدم . ولحسن الحظ كان سطح الماء في الخزان وقت الهزة ( ٣٥ ) قدم تحت الهامة مما أدى السس بقاء ( ٥ ) أقدام فقط من الفضاء الصافي .</p>	<p>سد سان فيرناندو الاسفل Lower San Fernando ١٩٧١ ، ٨ - ٩ درجات</p>

كما ورد في الجدولين السابقين يمكننا تشخيص عدد من ملاحظات الفشل والتي كانت بسبب الازاحة في فالق يمبرالاس أو قريبا منها . كما هو الحال بالنسبة لسدى كريستال سبرنكز الاملس وسان اندرياس القديم ، حيث يقطع فالق سان اندرياس الشهير في سان فرسيسكو أسس هذين السدين عرضيا . وقد سجلت ازاحة جانبية في الفالق المذكور بمقدار ( ٨ ) أقدام في هزة ( ١٩٠٦ ) كما تعرض سد ساراتوغا المكون من سدين لنفس الهزة مما أدى الى انهيار أحد السدين بصورة جزئية وبالتالي تدفقت المياه المخزنة فيه . أما ما حصل لسد هيبجن في ولاية مونتانا الأمريكية فقد مسر الفالق قرب موقع السد وليس خلاله في هزة ( ١٩٥٨ ) ، حيث أدت الهزة المذكورة التي بلغ مقدارها ( ٧ ر ٦ ) درجات على مقياس ريختر الى حصول هبوط كلي في السد . وقد تضاعفت جطة امور لا تقاها هذا السد من التدمير الشامل . فعلى الرغم من ان الهبوط التفاضلي بين السد وقعر الخزان كان ( ٤ ) أقدام الا أن السد نفسه والقعر قد هبطا معا مسافة ( ١٠ ) أقدام ولولا هبوطهما معا لطغت المياه على السد بصورة كلية .

كما نرى من الجدولين السابقين حالتين لانهار كامل لسدين . الاول هو سد شيفلد قرب سانتا باربره - كاليفورنيا في هزة ١٩٢٥ والثاني سد أوغستا في هزة ١٨٨٦ . فبالنسبة لسد شيفلد

انهيار جزء منه وتدفقت المياه المخزونة ويعتقد بأن مياه الرش كانت العامل الرئيس في هذا الفشل وقد أدت الى تشبع الاجزاء السفلى مما أدى الى انزلاق كتلة كبيرة نتيجة للهزة من المنحدر الخلفي ثم انجرافها وتاكلها بواسطة المياه المتدفقة . واقد اجريت سنة ( ١٩٤٩ ) دراسة مستفيضة على هذا الفشل لغرض تقييم التصميم الاصلي وقد قدرت خواص الهزة كالآتي : -

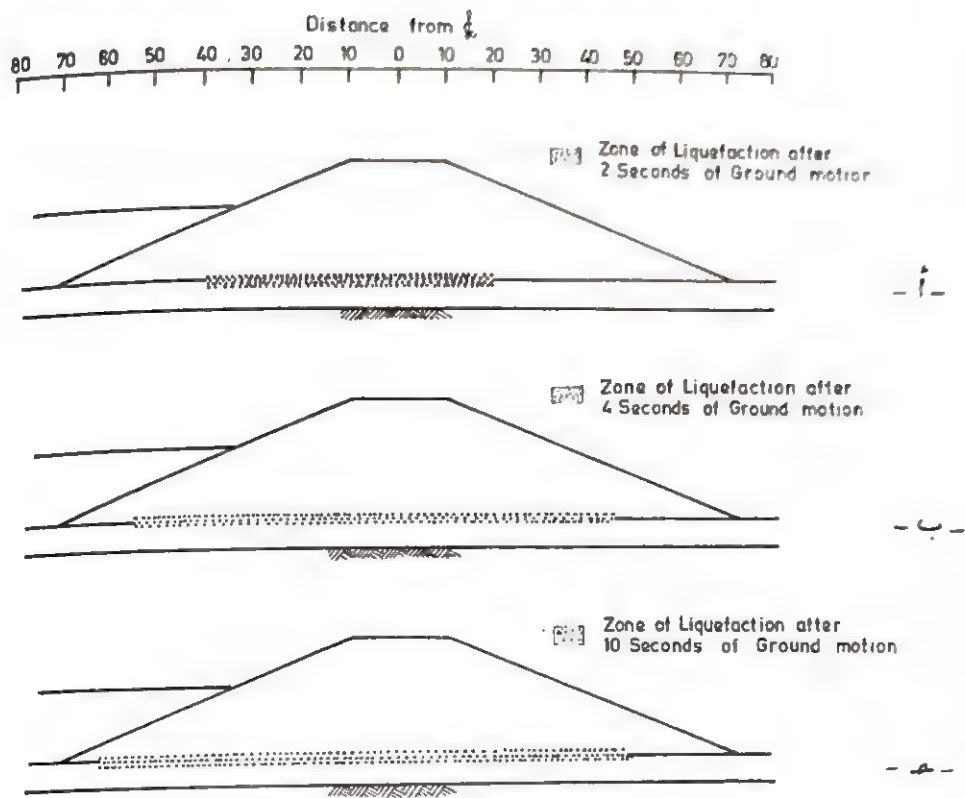
أقصى تعجيل للحركة الارضية	=	٠.١٥	من التعجيل الارضي
فترة الارتجاج	=	١٥ - ١٨	ثانية
تكرار تغيير اتجاه التعجيل	=	٢	دورات في الثانية

ولقد بينت الدراسة وتحليل الاجهادات ( الطريقة الديناميكية ) بأن السبب الرئيس للفشل قد يكون تميع المواد المكونة للسد (Liquefaction) ، وذلك في قاعدته فبعد ثانييتين قد يكون بدء الارتجاج تميع الجزء المبين في الشكل ( ٩ أ ) والممتد من مسافة ( ٢٠ ) قدم موخر الخط الوسطي للسد الى مسافة ( ٤٠ ) قدم مقدم الخط الوسطي له . وقد تقدم التميع باتجاه القدم خلال هذه الفترة بسرعة تفوق سرعة تقدمه نحو الموتر . ثم انعكست الوضعية بعد ذلك كما مبين في الشكل ( ٩ ب ) ، ويحود السبب في ذلك الى ان ضغط عمود الماء في القدم يعطي مقاومة أكبر للتربة ، ونلاحظ بعد ( ١٠ ) ثوان من الارتجاج كما في الشكل ( ٩ ج ) بأن الجزء المتميع قد وصل لمسافة حوالي ( ١٠ ) اقدام من موخر قاعدة السد . وبالنظر لان مقاومة التربة للانزلاق في هذا الجزء هي أقل كما بينا ، لذا فقد حصل الانزلاق في موخر السد ويعوجب الوضعية التي تم شرحها .

أما انهيار سد أوغستا فقد كان نتيجة لتصدعه بصورة عرضية ثم انسياب المياه وتدفعها التدريجي من خلال هذه الصدعات مما أدى الى التاكل الكامل للسد وانهياره التام . ولو ركزنا الاهتمام على موضوع التصدع فأنا نرى بأن كافة السدود المعرضة بالزلازل قد تصدعت وخاصة في الهامة (Crest) ، حيث ظهرت هذه الصدوع جلية في سد أونو (Ono) وسد موراياما الاسفل في هزة ( ١٩٢٣ ) في اليابان ، وكذلك سد اوتانيك في هزة ( ١٩٤٦ ) في اليابان أيضا . وقد كسبان شكل الصدعات طوليا وقوسا في الجزء الوسطي من السد في حالتين لسدين نفذتا بطريقة الجرف الهيدروليكي . ففي هزة ( ١٩٥٢ ) التي ضربت مقاطعة كيرن ( كاليفورنيا ) بينت حفرة التحريكات (Investigation Pits) بأن هذه الصدعات كانت قد امتدت الى اللب الاصم وبشكل اقواس في المستوى الشاقولي وباتجاه الخزان ، وذلك في سد دراى كانيون بينما كانت في مستوى افقي في سد ساوت هاى وى (South Haiwee) وكان تحذب الاقواس باتجاه القدم . ويمكننا ان نذكر في هذا المجال بأن السدود الاكثر تضررا بالتصدع أو الهبوط كانت سدودا استعطت في دفعها ووضعتها طرقا بدائية .

ان هزة كيرن ( ١٩٥٢ ) سببت اضرارا كبيرة للسدود غير المحدولة التي تراوحت ارتفاعاتها بين ( ٥ ) اقدام الى ( ١٢ ) قدم وكانت مستعجلة لخزن مياه الري . ولوحظ في هذه الهزة بالسدات





شكل (١) - دراسة فشل سد شيفلد نتيجة للقيع

بأن أغلب الأضرار كانت بشكل تصدعات طولية على هامات هذه السدود وترهل (Slumping) في المنحدرات الجانبية إضافة إلى هبوط السدود المذكورة .

لقد وفرت هذه الهزة فرصة جيدة لتقييم أهمية الدفن العرصوص بالطرق الميكانيكية الحديثة ، حيث نرى أن سد تيجون رانش (Tejon Ranch) الذي استخدمت فيه طرق السيطرة النوعية الحديثة في الرص لم يصاب بأية أضرار ، بينما تعرض سد بونافستا (Buena Vista) إلى أضرار بليغة على الرغم من كونه أكثر بعدا عن السد الأول من بومرة الزلزال ، كذلك نرى عدم تضرر سد بوكيه كانيون (Bouquet Canyon) ، بينما تضرر سد دراى كانيون (Dry Canyon) كما سبق وذكرنا على الرغم من تساوى البعد البومرى لكلا السدين . ولقد كان البعد البومرى لسد بونافستا قليل للغاية ، بينما كان البعد البومرى لسد دراى كانيون (٦٠) ميلا وسجلت في موقعه شدة قدرها (٧) درجات على مقياس ميركالي المعدل . أما سد هاى وى فقد كان بعده البومرى (٦٠) ميلا أيضا . والشدة المسجلة في موقعه (٥) درجات على نفس المقياس . هذا وكان هذا السد (٦) سدود أخرى لم تتضرر واقعة ضمن دائرة نصف قطرها (٦٠) ميلا من بومرة الهزة . وهذه الحالة تشابه من كافة الوجوه لما حصل في هزة سان فرانسيسكو (١٩٠٦) ، حيث تعرضت (٤) سدود للأضرار ، بينما سلمت كل من سدود بيلاركتوز (Pilarcitos) وبييسر كلوش (Bear Gulch) وهايديمونت الاول (Peidmont No. 1) وليك فراى (Lake Frey) وسان ليندرو (San Leandro) على الرغم من معاناة هذه السدود لنفس الارتجاج .

أما هبوط السدود فيعزى بالاضافة الى عدم كفاية الدفن للاملاشيات الى رداة الاسس أيضا . ففي حالة سد هيسغن والذي هبط تفاضليا بمقدار (٤) أقدام نسبة للخزان كان نصف طول السد واقعا فوق انزلاق أرضي قديم . كما أن هبوط سد بونافستا البالغ قدمين في هزة (١٩٥٢) ، سببته طبيعة صخور الاسس الجبسية ووجود تجاويف فيها نجت عن رشح المياه .

لقد أورد كاواسومي (١٩٥٤) (Kawasumi, 1954) إحصائية عن الأضرار التي نجمت عن هزة أوكا (Oga-1939) والتي خربت (٥٣) سدا وكاميا وأصابت المنطقة الواقعة شمال غرب جزيرة هونشو اليابانية مقابل مدينة سيداى محدثة تدمير (٦٠٤) منزل ومسيبة (٣٩) وفاة ، وكان مقدارها (٦٦) درجة على مقياس ريختر . ونلاحظ من الجدول رقم (١٠) بأن عدد حالات الضرر يزيد عن (٥٣) سدا بمعنى أن أكثر من ضرر واحد قد أصاب السد الواحد .

هذا وتجدر الإشارة الى ما تعرض اليه احد السدود الكبيرة من هزات أرضية ومقاومته لها بنجاح وبدون أضرار تذكر . فلقد خربت هزة أرضية بمقدار (٥٧) درجات على مقياس ريختر مسد أورفيل (Oroville Dam) وكان بعدها البومرى من السد لا يتجاوز (٧) كيلومترات الى الجنوب منه .

يبلغ ارتفاع سد أورفيل ( ٧٧٠ ) قدما وهو أعلى سد ركابي ترابي في الولايات المتحدة ويتكون من لبطيني مستند على وسادة كونكريتية ( انظر الشكل رقم ١٠ ) وهو مزود بموشحات متدرجة من الرمل والحصى ثم القشرة • يبلغ منسوب هامته ( ١٩٢٢ ) قدما وكان منسوب الخزان عند حصول الهزة حوالي ( ٨٨١ ) قدما • أما طول الهامة فيبلغ ( ٦٩٢٠ ) قدما •

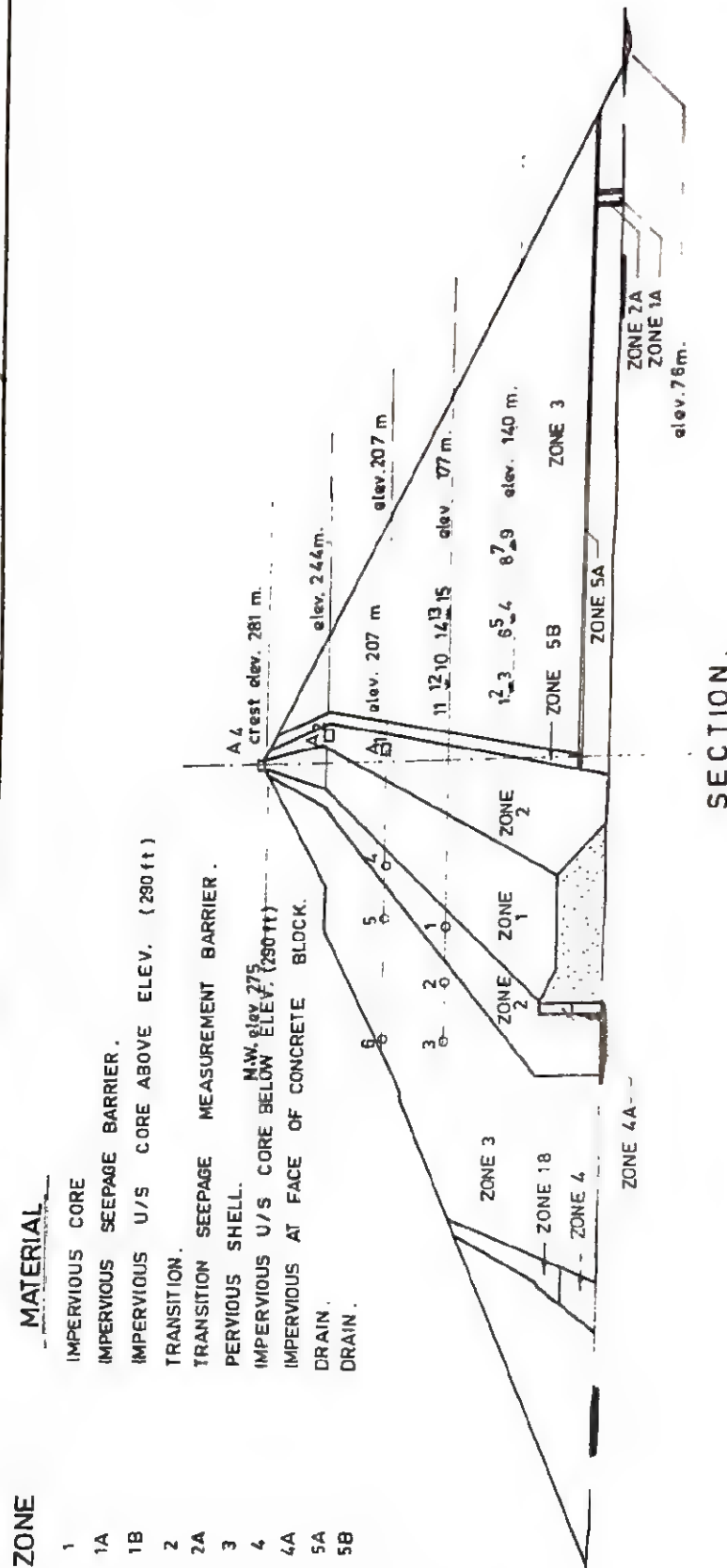
### جدول رقم ( ١٠ )

الاضرار التي أصابت السدود في هزة أوكسار ١٩٣٩

عدد الحالات	نوع الضرر
٤٣	تصدعات موازية لاتجاه الهامة
٥	تصدعات عمودية على اتجاه الهامة
٧	انهيارات كاطة ( ولم تشخص ميكانيكية الانهيار )
١	ترهل المنحدرات الامامية والخلفية وبدون حصول تصدعات
١٧	ترهل المنحدرات الامامية والخلفية مع تصدعات في المقدم
٦	ترهل المنحدرات الامامية والخلفية مع تصدعات في العوضو
٨	ترهل المنحدرات الامامية والخلفية مع تصدعات في المقدم والعوضو
١٦	تصدعات وبدون ترهل المنحدرات الجانبية

لقد تطلعت وضعية الهزات بحصول خمس من الهزات الثانوية ( Foreshock ) ابتداء من الثامن والعشرين من حزيران ١٩٧٥ وكان أكبرها مقدارا ( ٨ ر ٣ ) درجات على مقياس ريختر ثم طت ذلك فترة من الهدوء أعقبها وقوع ( ٢٩ ) هزة كان أكبرها مقدارا ( ٤ ر ٨ ) درجات على مقياس ريختر وقبل بضعة ساعات من وقوع الهزة الرئيسية المشار إليها أعلاه • ثم تلى الهزة الرئيسية وقوع ( ١٥٨ ) هزة ثانوية ( Aftershock ) تراوحت مقاديرها بين ( ٢٥ ر ٢ ) درجة ولخاية ( ٤ ) درجات •

لقد تم تشييد سد أورفيل وفقا لأفضل وأدق المواصفات وتم اتباع كافة الطرق الحديثة في ذلك كما نزع عددا كبيرا من أجهزة الاستشعار فيه لقياس الازاحات الافقية والعمودية والهبوط والضغط السامي اضافة الى أجهزة قياس الزلازل • وبذلك أمكن الحصول على صورة واضحة جدا عن تأثيرات هذه الهزات على السد فقد حصلت ازاحات جانبية داخل جسم السد بلغ اقصاها ( ٥ ر ٠ ) قدم كما هبطت الهامة بمقدار اقصاه ( ٣ ر ٠ ) قدم وحصلت فيها ازاحة جانبية لا تتعدى ( ٥ ر ٠ ) قدم نحو المقدم • كما ازداد الضغط السامي في اللب بحدود ( ٥٤ ) قدم من المياه وهو بذلك لم يتعد أعلى ضغط ساسي سبق تسجيله في جسم السد عند امتلاء الخزان • ولم يتغير شكل الرش وبقي بحدود ( ١٤ ) غالون بالدقيقة • الا أن مياه الرش الى داخل رواق التحشية ازداد تميز فيها من ( ٨٠ ) غالون



شكل ( ١٠ ) سد أوروفيل ( مواد البناء المستعملة ومواقع أجهزة المراقبة )

( ٩١ ) غالون بالدقيقة •

ان أعلى تسجيل تم تسجيله في قاعدة السد بسبب الهزة كان ( ٩٠ م٠ ) من التعجيل الأرضي باتجاه من القدم نحو موخر السد بينما تم تسجيل تعجيل أفقي عمودي على المحور النهري بحسبود ( ٣٠ م٠ ) من التعجيل الأرضي • أما أقصى تعجيل أفقي سجل عند الهامة فكان ( ٣٠ م٠ ) من التعجيل الأرضي أيضا •

لقد تم تصميم السد بأخذ الهزات الأرضية بنظر الاعتبار • وقد قاوم الهزات بعوجب ما متوقع كما جرت عملية لتقييم التصميم مرة أخرى بعد وقوع الهزة أعلاه وبافتراض أقصى هزة أرضية ممكنة (CE). بقوة ( ٦ م٠ ) درجات على مقياس ريختر واستعمال أقصى تعجيل بقدر ( ١٠ م٠ ) من التعجيل الأرضي وقد أجرت عملية التقييم جامعة كاليفورنيا في بيركلي • وقد اثبت كل ذلك إمكانية تلافي وتقصير اضرار للسدود اذا ما تم تقييم احتمالات وقوع الهزات وقدرها بصورة صحيحة اذا ما اتخذت الاجراءات اللازمة في التصميم •

-( Liquefaction ) :-

٢٠٦ التميع

التميع هي ظاهرة حركة وانسياب الطبقات الرملية الناعمة أو طبقات الطمي غير الموصوصة (Loose) والشعبة (Saturated) والداخلية في تركيب منحدر طبيعي أو في أسس سد ما وكأنها سائل ثقيل ولزج • وتقع هذه الظاهرة عند ما تسبب الاجهادات المسلطة على مثل هذه الطبقات تقلص في حجمها • وبالنظر لحالة التشبع التي ذكرناها تنتقل الاجهادات من الدقائق الصلبة المكونة للهيكل الصلب للمادة الى الماء المسامي (Pore Water) ونتيجة لطبيعة القوى المسلطة على التربة فقد تمر لحظات يكون وزن طبقات التربة منقولا وبصورة تامة الى الماء المسامي • وهذا يعني تقليل مقاومة التربة للقص في هذه اللحظات وتساوى المقاومة هذه مع مقاومة الماء نفسه للقص • يعني مقاومة منخفضة للغاية • وهذا بدوره يؤدي الى انسياب المادة نفسها نحو الاسفل متأثرة بقرير الجاذبية الأرضية سواء كانت الطبقة واقعة في منحدر طبيعي أو في منحدر سد ركامي أو في أسس • وتسمى مثل هذه الحالة والنتيجة عن التميع بانزلاق التدفق (Flow Slide) •

قبل الاستمرار في شرح بعض حالات الانهيار نتيجة انزلاق التدفق ومن اجل تفهم أدق لعملية التميع لابد من القاء بعض الضوء على نتائج التجارب التي قاما بها المهندسان الأمريكيان سيد ولي (Seed and Lee, 1966) (١٩٦٦) • من خلال تسليط جهود قصية دورية متكررة (Repeated Cyclic Shear Stresses) على عينات من التربة الرملية المشبعة الموصوصة وغير الموصوصة ظهر بأنه بالنسبة للتربة غير الموصوصة وبعد التحميل المتتالي يحدث التشويه الكبير (Deformation) وبالتالي يزداد بشكل سريع الى حد حصول التميع الكامل • بينما في حالة

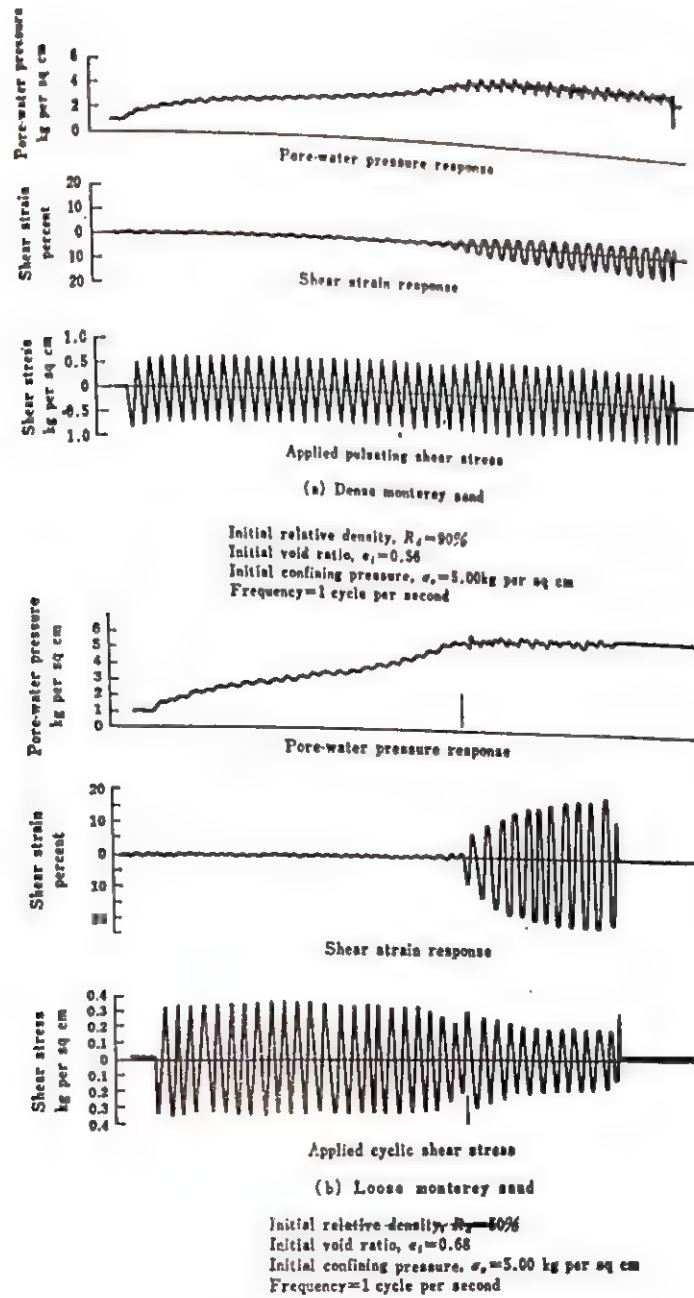


العينة المروضة فأما التشويه يبدأ بشكل تدريجي بسبب ذلك التميع الجزئي كحالة نهائية . على هذا الأساس تم تعريف حالتين رئيسة في التميع وهما موضحتان بالشكل رقم ( ١١ ) . فالشكل ( ١١-أ ) يمثل حالة التميع الجزئي للتربة المروضة ، حيث سعة الاستجابة للاجهاد القصي (Amplitude of Shear Strain Response) تقل عن ٢٠% ، بينما الشكل ( ١١-ب ) يبين حالة التميع الكامل للتربة غير المروضة بسبب تجاوز الاستجابة نسبة ٢٠% .

هناك العديد من الأمثلة عن الانزلاق تدفق كان المحرك الرئيس فيها هو الهزات الأرضية . وتتنوع هذه الأمثلة على منحدرات طبيعية وسدود ركامية وخاصة لسدود قد أنشأت بطريقة الجوف الهيدروليكي ، إضافة إلى حالات كثرة لسدود مخلفات التعدين (Tailing Dams) وهي سدود ركامية الغرس منها تكديس ما يتخلف عن استخراج وتعدين بعض المعادن .

لقد سبق وشرحنا حالة الفشل والانهار لسد شيفلد والتي نتجت من ظاهرة التميع في الجزء الأسفل من السد وبسبب هزة أرضية . كما أنه من الثابت الآن بأن سد فورت بيك (Fort Peck Dam) وهو من السدود الركامية الكبيرة المشيدة بطريقة الجوف الهيدروليكي والذي فشل في بداية الأربعينيات قد فشل بسبب التميع وكما برهن على ذلك كاساكراند (Casagrande) . لقد كان هذا الفشل هو السبب في استبعاد طريقة الجوف الهيدروليكي من إنشاء العديد من السدود المهمة خاصة في المناطق المعرضة للزلازل . ومن حالات الانهار لسدود مخلفات التعدين انهار سد منجم زليتوف (Sletovo Tailing Dam) والمكون من مخلفات تعدين الرصاص والبالغ ارتفاعه ( ١٥ ) متر فسي يونغ سابقا سنة ( ١٩٧٦ ) ، حيث سبب هذا الانهار تلوث النهر القريب ، إضافة إلى أمثلة أخرى من تشيلي ، حيث انهار ( ١٢ ) سدا من هذه السدود نتيجة لهزة ( ١٩٦٥ ) مما أدى إلى وقوع حوالى ( ٦٠٠ ) إصابة بالارواح . وهنا لا بد من أن نذكر بعدم تسجيل حالة فشل أو انهيار لسد ركامي بسبب تميع الطبقات الرملية في أسسه . إلا أن هذا لا يعني عدم إمكانية حصول من هذا الأمر إذا ما توفرت الظروف الملائمة . ولا بد من ذكر حقيقة مهمة في هذا الخصوص وهي عدم وجود عدد يذكر من السدود المهمة على أسس رملية ، لذلك فإن الخبرة المتوفرة في هذا الحقل لا يمكن أن تعتبر كافية بأي حال من الأحوال ، وعليه لا بد لنا من افتراض إمكانية هذا النوع من الفشل في بعض الظروف المتطرفة .

إن الخبرة الحالية المتوفرة عن ظاهرة التميع سواء المبنية على الفحوصات المخبرية أو دراسات انزلاقات تدفق مسجلة لا تعتبر كافية لإمكانية التكهن عن مدى تعرض طبقات رملية معينة لهذه الظاهرة بصورة دقيقة . غير أن الأمور العامة التي توضح مثل هذه الإمكانية ترتبط بعدى رص هذه الطبقات وهذا بدوره يرتبط بنسبة الفراغات الموجودة (Void ratio) ، إضافة إلى مدى فائدة الطبقة الرملية قياسا بمعدل تسليط جهد القص عليها ، أي مدى إمكانية تقليل الضغط المسامي الناتج عن الاجهادات الإضافية عن طريق الصرف (Drainage) . يضاف إلى هذين الأمرين مقدار ومعدل تسليط الاجهادات على الأسس الرملية غير المروضة خلال فترة إنشاء السد أو عند تشغيل الخزانات



شكل ( ١١ ) التميع الجزئي والتميع الكلي لعينات من التربة المروسة  
 وفهر المروسة الشبعة نتيجة تحميلها جهود قصية  
 دورية متكررة • (From Seed & Lee, 1966)

أو مقدار ومعدل تغير هذه الاجهادات خلال الهزة الارضية اذا كانت الاخيرة هي المسببة للتدمير.

ان الامور التي اشرنا اليها انما ترتبط بخواص التربة التالية :

- (١) الكثافة النسبية للرمل (Relative Density) .
  - (٢) خشونة حبيبات الرمل المتدرجة .
  - (٣) سمك الطبقة الرملية وفاديتها .
  - (٤) الخواص الميكانيكية المتعلقة بمقاومة التربة اذا ما كانت مكونة من الطين أو من الطين الضعيف واذا ما كانت مثل هذه التربة مختلفة في الطبقات الرملية غير الموصولة .
- ان مقدار ومعدل تسليط الاجهادات الناتجة عن انشاء السد أو املاء الخزان تعتمد بالطبع على وزن وشكل السد وعلى معدلات تقدم انشائه ، كما تعتمد على معدلات رفع وتخفيض المناسيب للخزان . وهذه الامور كلها يمكن تقديرها والسيطرة عليها . أما بالنسبة للاجهادات الناتجة عن الهزات الارضية فلا يمكن تحديد ها بصورة دقيقة ، كما لا يمكن السيطرة عليها وخاصة ما يتعلق بتأثير هذه الاجهادات على تغير الضغط المسامي ، لذا يبقى احتمال التميع بالنسبة للمنحدرات والسدود في المناطق الزلزالية أمراً في غاية الصعوبة للتكهن بأبعاده أو معرفة اثره بدقة . ومهما يكن الأمر فإن لدينا في الوقت الحاضر بعض المؤشرات العامة لحصر هذا الخطر وتجنبه قدر الامكان . وفي غياب طرق أفضل فإن هذه المؤشرات يمكن أن تؤخذ بنظر الاعتبار عند تقييم مقاومة أسس أو منحدرات سد ركامي وكالاتي :

١ - ان الرمال ذات الكثافة النسبية التي تبلغ أو تزيد قيمتها عن ( ٥٠ % ) تكون غير معرضة لخطر التميع بصرف النظر عن التدرج . وهذا يعني استعمال الرمال من لغاية هذه الكثافة أو اعلى لمثل هذه التربة .

٢ - يقل خطر التميع كلما كانت التربة الرملية أكثر تدرجاً أو أكثر خشونة ، وهذا يعني ضرورة دراسة التدرج المذكور عند اجراء التحريات . وتكون الرمال الناعمة جداً والمنظمة التدرج (Uniform) هي الأكثر عرضة للخطر المذكور ، وكذلك الحال بالنسبة للطين الخشن المكون من الحبيبات المستديرة . وقياساً على ذلك تكون الطبقات الرملية المترسبة بفعل الانهيار أقل عرضة للتميع من الطبقات المترسبة بفعل الرياح .

٣ - ان أعظم جهد مسلط على الاسس يتمثل عادة بوزن السد المتزايد خلال فترة الانشاء . أما الاجهادات الناتجة عن ضغط الخزان فتعتبر قليلة نسبياً وغير مؤثرة قياساً للنوع الأول ، وحيث تكون أسس السد مشبعة بعد الانشاء مباشرة ، لذا فإن خطر التميع يكون أعظم ما يمكن في خلال فترة انشاء وعند اكتمال بناء السد مباشرة .

٤ - لا ننسى لدينا من الناحية العملية أسس لتقييم إمكانية حصول انزلاقات التربة نتيجة للبهزات الأرضية ، لذلك يفضل تجنب الأسس الرملية قدر الامكان في المناطق ذات الزلازل العالية ، كما يجب العناية الفائقة بالسيطرة النوعية لدرجة الرطوبة والحرص للتربة الرملية المستعملة في الدفن في السدود خاصة في مثل هذه المناطق .

المصاحف الثالث

الطرق التحليلية في تصاميم السدود الركابية بالنسبة للزلازل

Part Three

Analytical Aseismic Methods in Embankment  
Dam Design



من أهم الأمور التي على المصمم أن يلتفت إليها عند دراسة تأثيرات الهزات الأرضية في تصميم سد ما أو في استقرارية منحدر طبيعي معين تلك الأمور التي ثبت تأثيرها بالتجربة ، من خلال الخبرة السابقة المكتسبة • ان دراسة هذه الأمور تعطينا مؤشرات عن مواطن وظروف عدم الاستقرار الممكنة • فمن المعروف مثلا ان ولفترة طويلة سابقة بأن وجود طبقات رملية غير موصوطة ومشعبة فسي أسس سد ما أو ضمن التركيب الجيولوجي لمنحدر طبيعي يحتمل احتمال تصبغ هذه الطبقة خلال هزة أرضية محتطة • وبالتالي وقوع انزلاق في منحدرات السد أو في المنحدر الطبيعي المذكور • وتكون الوضعية مشابهة عند وجود طبقة طينية رخوة وحساسة (Sensitive Clay) ، حيث تحت ظروف خاصة تكون احتمالات وقوع الانزلاق عالية • وخير مثال على الحالة الأخيرة الانزلاقات الواسعة النطاق التي حصلت في المنحدرات الطبيعية نتيجة لهزة ( ١٩٦٤ ) في الاسكندرية •

لذا فإن استعمال أية طريقة تحليلية لتقييم استقرارية سد أو منحدر طبيعي لن يعطينا مؤشرا حقيقيا لدرجة الأمان المتوفرة ما لم يدعم ذلك بفهم جيد للخواص الجيولوجية التفصيلية للموقع وخواص التربة الهندسية وما لم يدعم ذلك أيضا باختيار المؤشرات الزلزالية الصحيحة فسي التقييم •

لقد سبق وشرحنا كيفية تأثير السدود بالهزات الأرضية والاضرار التي قد تعرضت لها نتيجة لذلك • ويمكننا هنا أن نجعل أشكال الحركة في السدود الركامية والمتأتمية من الهزات بما يلي : -

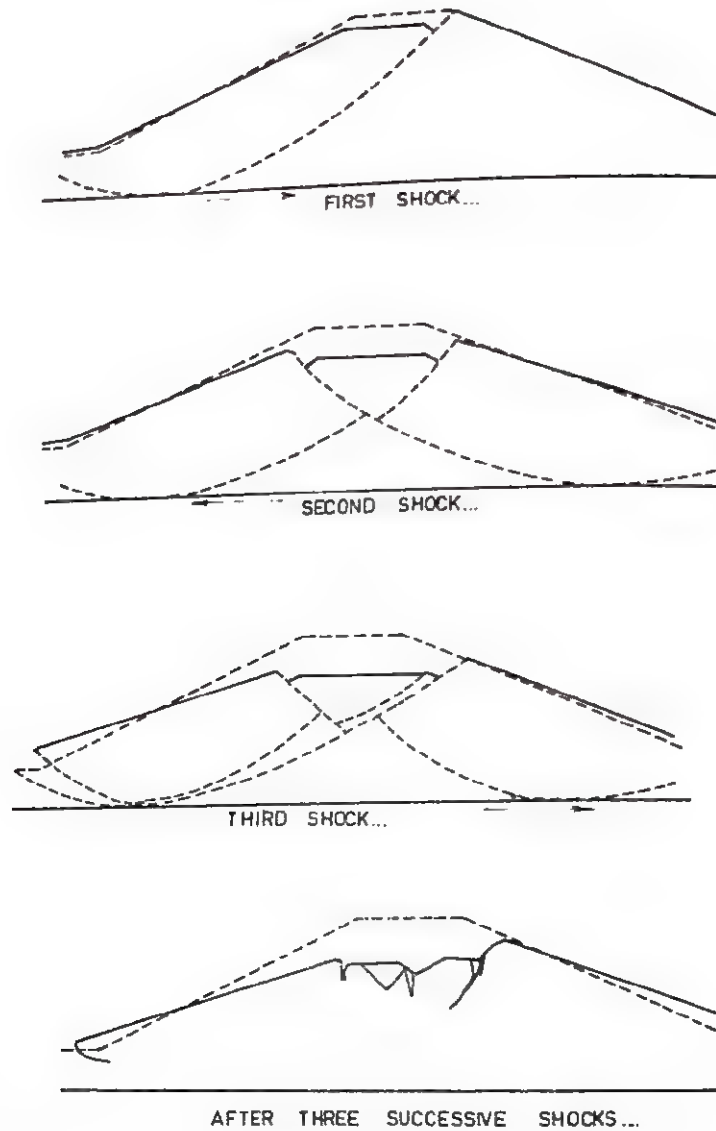
( أ ) حركة كتلة أو شريحة من المنحدر الأمامي أو المنحدر الخلفي وانزلاقها نحو الخارج وبالتالي الأسفل •

( ب ) انزلاق السد بأكمله وكتلة واحدة على طبقة ضعيفة في الأسس •

( ج ) حركة فاضلية بين مكونات السد أو بين السد وبعض طبقات الاسس مما يؤدي الى وقوع تشققات بسبب اجهادات القص في القشرة الأرضية والنتيجة عن الحركة الموجهة •

ان تغيير اتجاه التعجيل بصورة متكررة خلال الهزة الأرضية قد يؤدي الى حصول بعض أو كافة الأمور التي أشرنا إليها • وقد أوضح البروفيسور امبراسيز ( ١٩٦٠ ) ( Ambraseys, 1960 ) ذلك بصورة تخطيطية كما في الشكل ( ١٢ ) •

ان دراسة الهزات الأرضية وأصنافها أيضا تغني التجربة المتراكمة في هذا الحقل • وهناك عدد من الهزات الكبيرة التي أمكن تسجيلها وتسجيل تغيرات التعجيل والسرعة والازاحة فيها • ويمكن في



شكل (١١) الانزلاقات المحتملة في السدود نتيجة الهزّة الأرضية (بموجب امبريزي)

(From Ambraseys, 1960 b)

الكثير من الحالات اعتماد أحد هذه الهزات كنموذج (Model) لأعمال التصميم والدراسات للسد بعد إجراء عملية تكبير أو تصغير عليها بما يجعل تعجيلها مساو للتعجيل الاقصى في الموقع تحت الدراسة وكما سيتم شرحه . ان تقييم استقرارية سد ما أو منحدر طبيعي تحت الظروف الاعتيادية أى ( بدون الهزات الارضية ) يتلخص باحتساب أقل قيمة لمعامل الامان بالنسبة لحصول انزلاق تحت تأثير قوى الوزن وضغط المياه الصامي (Pore Pressure) وضغط مياه الخزان من جهة ومقاومة قوى الاحتكاك وقوة التماسك والتلاصق (Cohesion) لجزيئات التربة من الجهة الاخرى ، حيث تعمل القوى الاولى على تقليل الاستقرارية ، بينما تقاوم القوى الثانية ذلك .

ويتم التوصل الى قيمة معامل الامان الدنيا هذه ، بتحليل عدد كبير من سطوح الانزلاق المحتملة خلال جسم السد أو جسم السد وأسسـه . وحسب التركيب الجيولوجي لهذه الاسس وطبيعة المسود العنوة لجسم السد قد يكون سطح الانزلاق المحتمل قوسيا أو بشكل سطوح مستوية ومعاظلة . وتعمد الحسابات لعدد من حالات التشغيل المختلفة كأن يكون الخزان فارغا ( بعد الانتهاء من انشاء السد مباشرة ) أو أن يكون مستوى الخزن بمناسيب مختلفة أو في حالة خفض المناسيب السريع ، حيث ان حسابات التشغيل هذه تغير من قيم القوى المؤثرة ، اضافة الى اختلاف درجة تشبع التربة واختلاف ضغط المياه الصامي .

ان قيمة معامل الامان الدنيا التي نحصل عليها من الحسابات التي أشرنا اليها يجب أن لا تقل عن حد معين مقرر سلفا يجب عدم تجاوزه . وتكون عادة القوى المؤثرة في هذا التحليل في حالة السكون . أى أن الوضعية لا تخرج من الطور الستاتيكي البحث .

أما عند دراسة تأثيرات الهزات الارضية فأن الوضع يكون مختلف ، حيث ان القوى الناتجة عن هذه الهزات ذات طبيعة ديناميكية وتمثل قوى القصور الذاتي (Inertia Forces) سواء كانت هذه القوى متصلة بالكتلة المعرضة للانزلاق أو ناتجة عن زيادة الضغط الهيدروديناميكي لمياه الخزان ، لذا فإن دراسة هذه القوى يتطلب شكلا خاصا من المعالجة بصورة عامة ، فهناك أسلوبان رئيسيان — أساليب التحليل . يتلخص الاسلوب الاول بتبسيط الحالة الديناميكية وتحويلها الى وضعية ستاتيكية مكافئة بإضافة قوى ذات مقادير معينة لتأثيرات الهزة الارضية وتطبيق الحسابات الخاصة لحالات الاستقرارية التي ذكرناها . ويدعى هذا الاسلوب بأسلوب التحليل شبه الاستاتيكي (Pseudostatic) . ان تبسيط القوى الديناميكية الى قوى ستاتيكية مكافئة يتم بضرب الكتلة بمعامل خاص يعرف بالمعامل الزلزالي (K) (Seismic Coefficient) أى :

$$P = K.W$$

$$\dots (38)$$

$$\begin{aligned}
 P &= \text{قوة القصور الذاتي الستاتيكية} \\
 K &= \text{المعامل الزلزالي} \\
 W &= \text{وزن الكتلة تحت الدراسة}
 \end{aligned}$$

في طريقة فيلينوس (Fellineous) أو ما يعرف بالطريقة السويدية لتحليل الاستقرار —————  
(Swedish method) فإن الكتلة المحتمل انزلاقها تقسم إلى شرائح ويكون معامل الأمان  $(F)$  :

$$F = \frac{\sum (N - U) \tan \phi + \sum c \Delta S}{\sum (T)} \quad \dots (39)$$

حيث أن :

$$\begin{aligned}
 \sum (N - U) &= \text{محصلة القوى العمودية بصورة عمودية على السطوح السفلى للشرائح} \\
 &\quad \text{القوى العمودية بصورة عمودية على السطوح السفلى للشرائح} \\
 N &= \text{الناتجة عن الوزن} \\
 U &= \text{الضغط العصامي الكلي العمودياً ونحو الأعلى على السطوح} \\
 U &= \text{السفلى للشرائح} \\
 T &= \text{مركبات الوزن الموازية لسطح الانزلاق والتي تعمل على الانزلاق} \\
 \sum c \Delta S &= \text{قوة التماسك والتلاصق الكلي} \\
 \phi &= \text{زاوية الاحتكاك الداخلي لعادة الدفن}
 \end{aligned}$$

وتصبح المعادلة بعد ادخال تأثيرات الهزة الأرضية المكافئة :-

$$F = \frac{\sum (N - U - KT) \tan \phi + \sum c \Delta S}{\sum (T + KN)} \quad \dots (40)$$

ولو استعملنا طريقة أخرى لتحليل الاستقرار غير طريقة فيلينوس أعلاه فإن أسلوب المعاملة يكون مشابه لما ورد أعلاه • وهذا يتفق المسألة في اختيار المعامل الزلزالي وطريقة التحليل المستخدمة • أما الأسلوب الثاني من أساليب التحليل فيعتمد التحليل الديناميكي للحركة • حيث تتم دراسة التخفيض الزمي لعناصر الحركة خلال الهزة الأرضية • والمقصود هنا تغير التعجيل والسرعة والازاحة • ومن ثم

ايجاد الاجهادات والمطاوعة في اجزاء السد المخططة • ويتم تقييم سلامة السداد والمعدر على أساس قيم هذه الازاحات وقيم هذه المطاوعة • وفي هذين الاسلوبين لابد من اعتماد هزة أرضية فعلية كنموذج (Model) (تم تسجيلها وتحليلها فعلاً) • حيث يتم تقييم (Normalization) هذه الهزة بجعلها ذات تعجيل مساوٍ للتعجيل التصميمي المتوقع في الموقع وكما شرحنا • كما لابد من الاسلوب الديناميكي من اعتماد خواص التربة الديناميكية (كخواص القص الديناميكي) بدلاً من الخواص الستاتيكية • حيث أن مقاومة التربة تحت تأثير القوى الديناميكية تختلف عن مقاومتها تحت القوى الستاتيكية وسوف نتطرق الى كافة هذه الامور فيما بعد •

### ٣٠٢ التحليل شبه الاستاتيكي — استعمال القواعد التجريبية

(Pseudo-Static Analysis-Empirical Rules)

ان المعايير التصميمية المتبعة في بعض دول العالم ترى استعمال قيم محددة للمعامل الزلزالي (K) • كما ترى هذه المعايير حدوداً علياً ودنياً لقيمة المعامل المذكور وحسب المنطقة أو القطر الذي تطبق فيه تلك المعايير • وقد يكون بالامكان ربط قيمة المعامل الزلزالي المستعمل في منطقة ما بخارطة الاحتمالات الزلزالية لتلك المنطقة (Seismic Probability Maps) • ومن الجدير بالذكر هنا • بأن التوزيع الجغرافي للقيم الاحتمالية يتركز بالاساس على المشاهدة والتجربة الفعلية • وعلى هذا الاساس ترى بأن حدود قيمة المعامل المذكور المستعملة في الولايات المتحدة تتراوح بين (٥% - ١٥%) • بينما تتراوح القيم المستعملة في اليابان بين (١٠% - ٢٥%) • ويتم اختيار القيمة المستعملة في التصميم بين هذه الحدود وحسب فعالية المنطقة الزلزالية مع أخذ أهمية السد بنظر الاعتبار كما في الاشكال (١٣ ، ١٤ ، ١٥) • ان المعايير التي ذكرناها بافتراضها معاملاً زلزالياً ثابتاً تفترض بأن رد فعل السد بالنسبة للحركة الزلزالية لا يتصل بأبعاد الهندسية ولا بخواص المواد المكونة له • وتشذ عن ذلك المعايير السوفيتية لسنة (١٩٥٧) (Hydrotechnical Project) (1957).

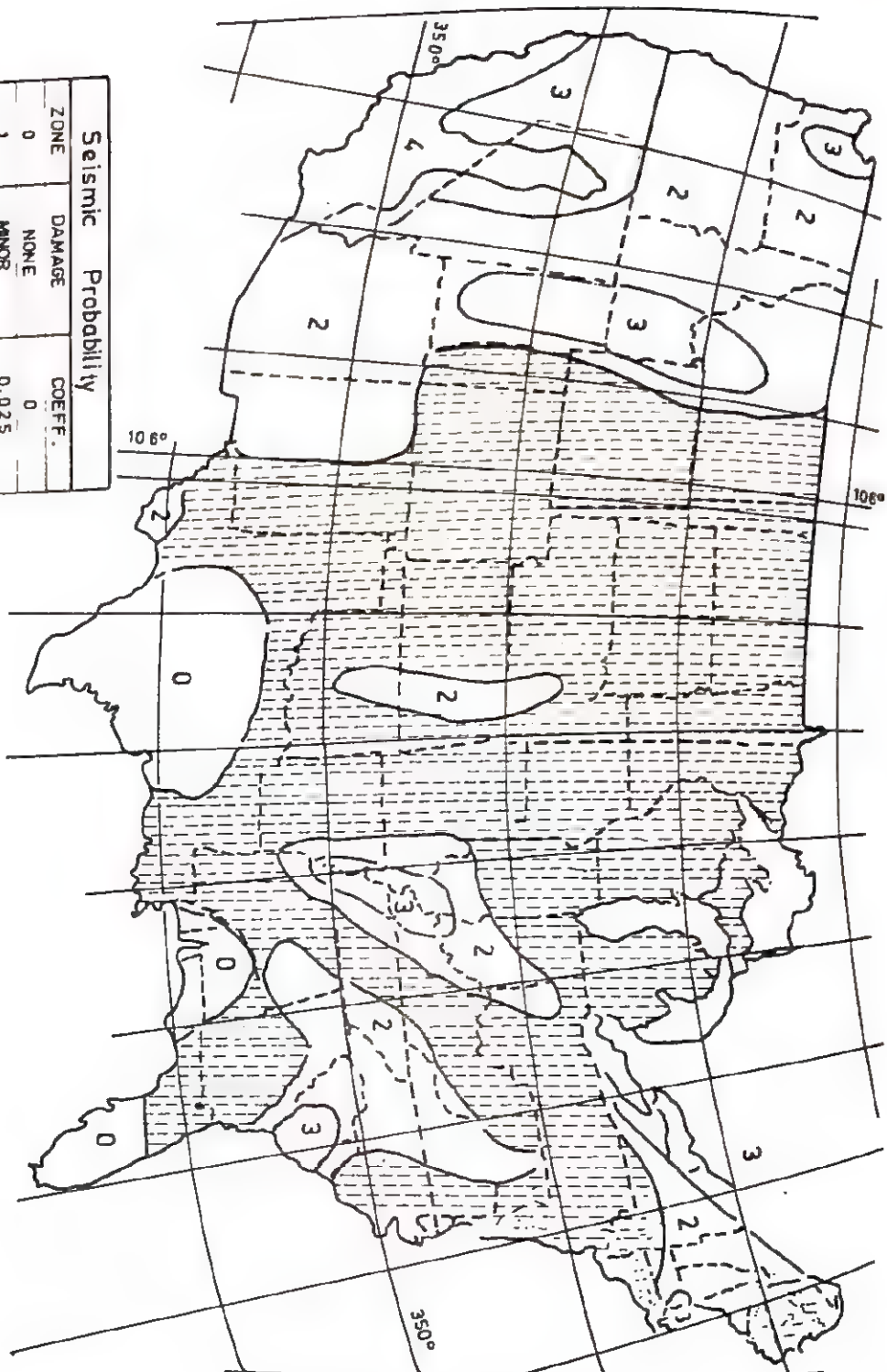
حيث ان المعايير هذه تعطي قيمة المعامل الزلزالي للمنطقة التي سينشأ فيها السد وضمن الحدود (١٥% - ٣٠%) • الا ان تجاوب السد وخواص موادّه تعدل القيمة الداخلة في الحسابات التصميمية بعرجب المعادلة التالية : —

$$K = 1.6 \frac{\eta}{2\lambda} \left[ 1 - \left( \frac{b}{B} \right)^2 \right] \dots (41)$$

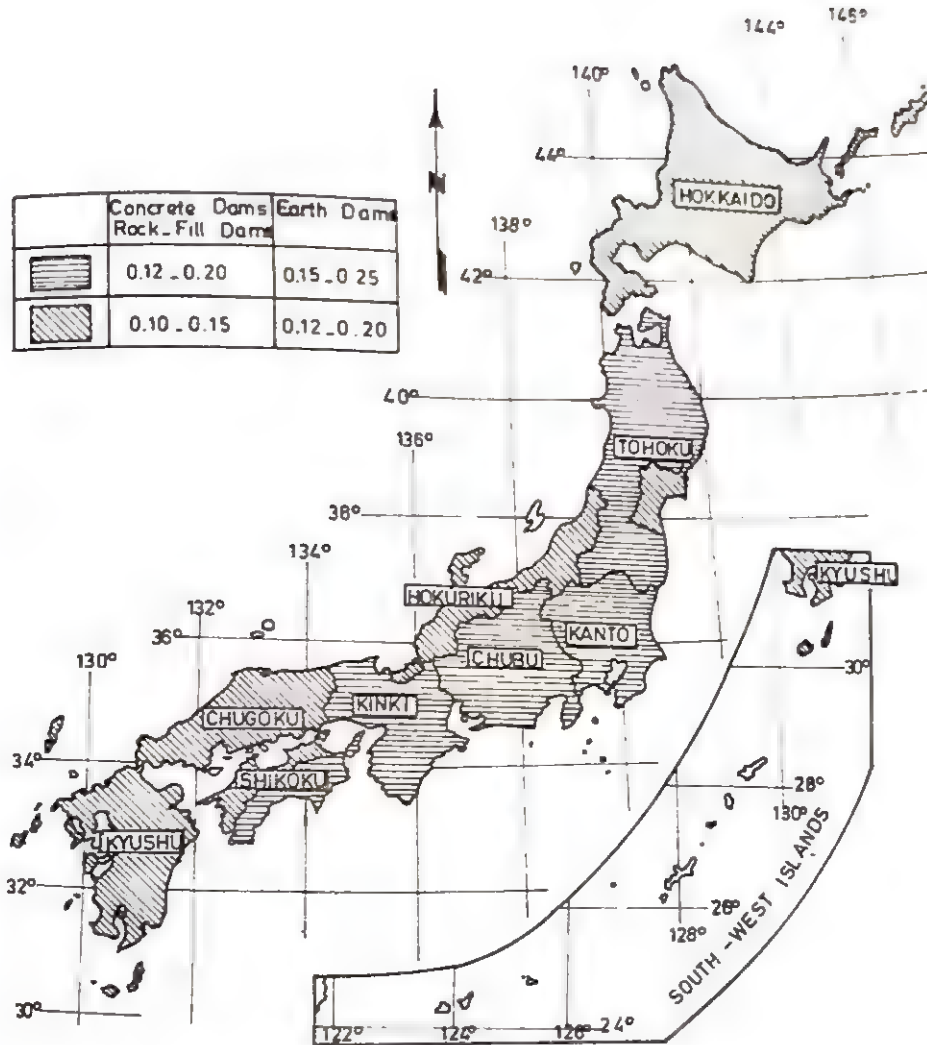
حيث ان: ( $\eta$ ) هو معامل التماسك (Cohesion Coefficient)



Seismic Probability		
ZONE	DAMAGE	COEFF.
0	NONE	0
1	MINOR	0.025
2	MODERATE	0.05
3	MAJOR	0.10
4	GREAT	0.15

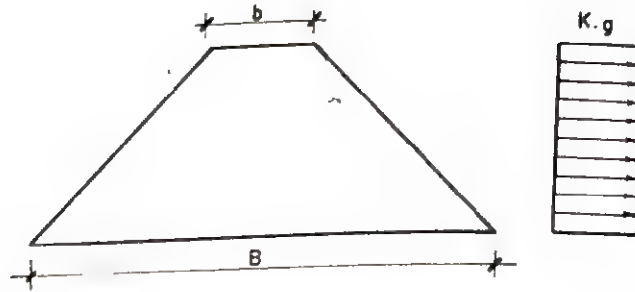


شكل (١٣) - مناطق الاحتمالات الزلزالية المقيدة الاميركية

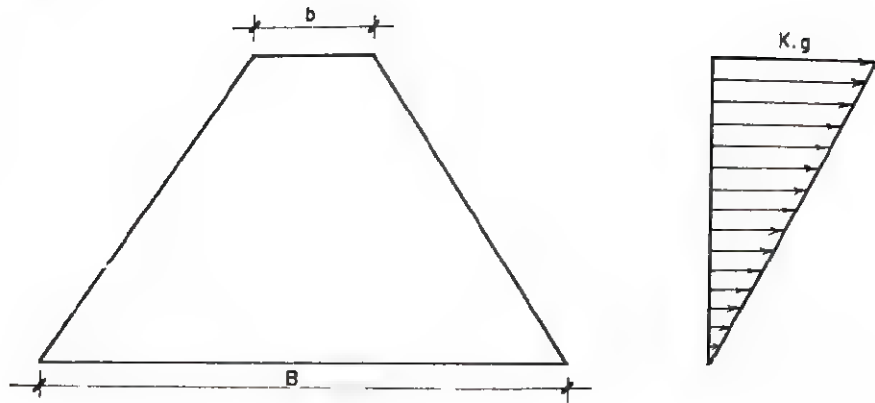


ZONING OF DESIGN SEISMIC COEFFICIENT...

شكل (١٤) خارطة الأحقالات الزلزالية (والمعامل الزلزالي) لليابان



أ - توزيع المعامل الزلزالي المنتظم على ارتفاع السد



ب - توزيع المعامل الزلزالي بموجب المعايير السوفيتية (١٩٥٧) على ارتفاع السد

شكل (١٥) توزيع المعامل الزلزالي (K) حسب ارتفاع جسم السد •

$$0.3 \leq \eta \leq 0.15$$

وبتقارب من

بينما (  $\lambda$  ) هو معامل الاخماد لعادة الدفن ( Damping Coefficient ) ويعرف بالـ  
النسبة الطوية من الاخماد الحرج ، حيث أن الاخير يمثل مقدار الطاقة الحركية التي يتم تهديدها لكبس  
الحركة الاهتزازية بصورة كاملة .

٣٠٢ التحليل شبه الاستاتيكي - استجابة الاجسام الجاسئة (Rigid Body Response)

لو افترضنا بأن السد الركامي يستجيب ( Responds ) للهزة الارضية كتجاوب الاجسام  
الجاسئة ( Rigid ) فإن هذا يعني بأن التعجيل العموم على السد هو نفس تعجيل الحركة الارضية  
الناتجة عن الهزة ويكون توزيع هذا التعجيل منتظما في كافة اجزاء السد . وقالبا ما يفترض المصممون  
بهذه الطريقة المعامل الزلزالي ( K ) باعتباره مكافئ للتعجيل الاقصى للحركة الارضية  
( Peak Ground Acceleration ) .

ان أهم الاعتراضات على هذا الافتراض مايلي :-

— قد تتجاوب بعض السدود الركامية القليلة الارتفاع والواقعة داخل مضائق فعلا كاجسام جاسئة  
الا أن هناك العديد من التجارب الحقلية التي اجريت لبعض السدود القائمة بتعرضها  
للاهمزاز بواسطة مكائن اهتزاز ضخمة خاصة . وقد اظهرت هذه التجارب عدم صحة هذا الافتراض  
حيث ان تجاوب السد كان مخالفا لشكل الاهتزاز المتوقع من الحركة الارضية ، كما ان هذا  
التجاوب لم يكن كتجاوب الاجسام الجاسئة .

— من المعلوم ان التعجيل الاقصى الناتج من الحركة الارضية لا يتحقق الا لفترة قصيرة للغاية  
ويمكننا أن نضرب الامثلة العديدة على ذلك . ففي هزة السنترو ( ١٨ / ٥ / ١٩٤٠ ) لم  
يتحقق التعجيل الاقصى البالغ ( ٣٣ % ) من التعجيل الارضي ( الحركة الشمالية - الجنوبية )  
الا لفترة ( ٠.٢ ) ثانية بينما كانت فترة الاهتزاز الكلي بتعجيل يزيد على ( ٣ % ) من التعجيل  
الارضي تساوي ( ٣٠ ) ثانية . وكان التعجيل الاقصى للحركة ( الشرقية - الغربية ) ( ٢٢ % ) من  
التعجيل الارضي وتحقق لفترة ( ١.٣ % ) ثانية فقط من أصل فترة الاهتزاز الكلي اذ ذكر . لهذا  
السبب فإن المطاوعة النسبية الناتجة عن التعجيل الاقصى تكون محدودة . وعلى الرغم من ان هذه  
المطاوعة ستزداد نتيجة للتأثير التراكمي للتعجيلات الاخرى وقوى القص الذاتي المتولدة أثناء  
الهزة الارضية الا ان المطاوعة النسبية الكلية لا يمكن أن نعتبرها وكأنها ناتجة من قوة القص  
الذاتي للتعجيل الاقصى وحده . وموترا طوال فترة الاهتزاز كما نفرض هذه الطريقة بالتحليل .

أن يعنى أن هذه الطريقة تعطينا نتائج وأن كانت أمينة ، إلا أنها لا تغطي الواقع • وأن المطابقة  
نسبية والاجتهادات المحسنة من خلالها تحتوى على درجة من المبالغة •

### ٣٠١ التحليل شبه الاستاتيكي - الاستجابة اللزجة - العرنه (Visco-Elastic Response)

إن العيوب التي أشرنا إليها في الطريقتين المذكورتين قد جعلت بعض الباحثين يحاولون وجهة  
مطابقتهم باتجاه آخر - ألا وهو محاولة الاستفادة من الخواص العرنه للسدود واستخدام نظرية العرنه  
إدخال عوامل الكبح الذاتي للسدود في مثل هذا التحليل • وقد تطور هذا الاتجاه  
لتحليل خلال فترة أحدثت حوالي نصف قرن لىفاة الآن ويمكننا أن نجعل هذه الأساليب تحت طريقة  
تحليل اللزج - العرنه (Visco-Elastic Analysis) • أن الأساس النظرى لهذه الطريقة  
يعتمد على افتراض بأن السد الركائمي مكون من عدد كبير جدا من الشرائح الأفقية ذات السمك المتناهي  
الصغير (Infinitesimal) الواحدة فوق الأخرى • كما يفترض هذا النموذج بأن الشرائح مرتبطة  
بعضها بواسطة نوابض مرنة (Elastic Springs) وخامدات أو كوابح لزجة (Viscous Dampers)  
يكون تجاوب السد للاهتزاز هو المحصلة الكلية لتجاوب هذه الشرائح للحركة الاهتزازية الموهمة فسي  
أمدد السد •

لغرض تبسيط الأمثلة لا بد لنا في البدء من دراسة تجاوب منظومة مبسطة  
تأتي في الشكل ( ١٦ ) للاهتزاز :

تتكون المنظومة المذكورة وكما هو واضح في الشكل من كتلة حرة الحركة ، حيث تكون حركتها على  
سطح أفقي ومستوي ، وهي مرتبطة بنابض من وتنتج حركة هذه الكتلة من مطاوعة النابض نتيجة  
لجهد خارجي وتضم المنظومة خامد للحركة (Damper) يعمل على إخماد الحركة وتبديد طاقتها  
الحركية •

أن تجاوب منظومة الاهتزاز الخارجي يكون عن طريق حركتها • وفي هذه الحركة تكون الإزاحة  
لسرعة والتعجيل متناسبة مع التردد للاهتزاز الخارجي • وفي حالة عدم وجود الكبح يكون هناك سقسف  
لن مطلق للإزاحة والسرعة والتعجيل بالنسبة لتردد معين ويتحدد هذا السقسف بعوجب خواص العرنه  
منظومة • أما بوجود الكبح فإن أقصى إزاحة وسرعة وتعجيل تتحدد أيضا بعوجب نسبة الكبح أو ما يعرف  
بمعامل الإخماد (  $\lambda$  ) • وقد سبق لنا أن عرفنا هذا المعامل بالنسبة للسدود في ( ٢-٢ ) • ويكون  
بمعامل الإخماد للحركة الاهتزازية المصاحبة للهزة الأرضية معتمدا على الخواص الجيولوجية  
موقع وخواص المواد المكونة للسد الركائمي • وتعرف المنظومة البسيطة هذه بمنظومة ذات درجة واحدة  
ن الحرية (One-Degree of Freedom) • وبما أننا أن تطور هذا النموذج البسيط إلى نموذج أكثر  
مقيدا وهو ما يعرف بنموذج ذراع القص (Shear Beam Model) كما في شكل ( ١٧ ) • ويمكننا



أن يفترض بأن تجاوب السدود الزلزالية مشابه لتجاوب هذا النموذج • أي كنظومة ذات عدة درجات من الحرية (Multi-Degree of Freedom)

في هذا النموذج يمكن لأي كتلة أن تتحرك نسبة إلى الكتل الأخرى ، وهذا يعني إمكانية تجاوب المنظومة للحركة الاهتزازية في عدة أشكال أو أطوار • ولكل طور من هذه الأطوار تسويده المعين ويكون الطور الأساسي (Fundamental Mode) هو أقل الأطوار ترددا ، يليه الطور الثاني والطور الثالث ، وكما هو واضح من الشكل ( ١٢ - ب - ج - د ) •

لقد وجد العلماء اليابانيون مولونوي وتاكادا وماتسونوبيا (Mononobe et al, 1936 (١٩٣٦) أن تجاوب السد الاهتزازي الناتج من الهزة الأرضية يخضع لمعادلة جيometrical (Sinusoidal) • وقسم هاتسوكا (١٩٥٢) (Hatanaka, 1952) بإيجاد فترة التردد لهذه الحركة واستنتج بأنه وعندما تكون نسبة طول قاعدة السد إلى ارتفاعه تساوي (٢) أو أقل ، فإن الحركة الاهتزازية تكون ناتجة عن قوى (القوى - الحني) (Shear Bending Vibration) • ويمكن إيجاد فترة التردد ( $T_{RS}$ ) من المعادلة التالية : -

$$T_{RS} = 4.422 \sqrt{\frac{\rho}{E}} \cdot H \quad \dots (42)$$

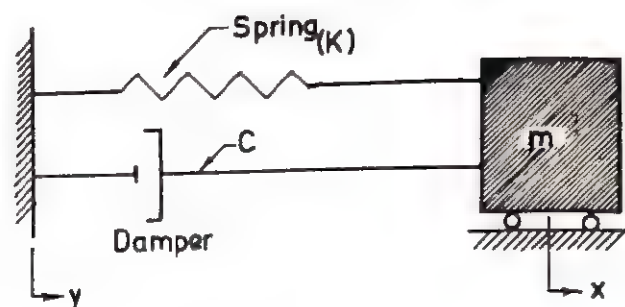
$$\alpha = \frac{B}{H} \leq 2.0$$

أما عندما تكون نسبة القاعدة إلى الارتفاع (٣) أو أكثر فإن الحركة الاهتزازية تكون ناتجة عن قوى القص فقط (Shear Vibration) وإن فترة الحركة ( $T_S$ ) يمكن إيجادها من المعادلة التالية : -

$$T_S = 4.293 \sqrt{\frac{\rho}{E}} \cdot H \quad \dots (43)$$

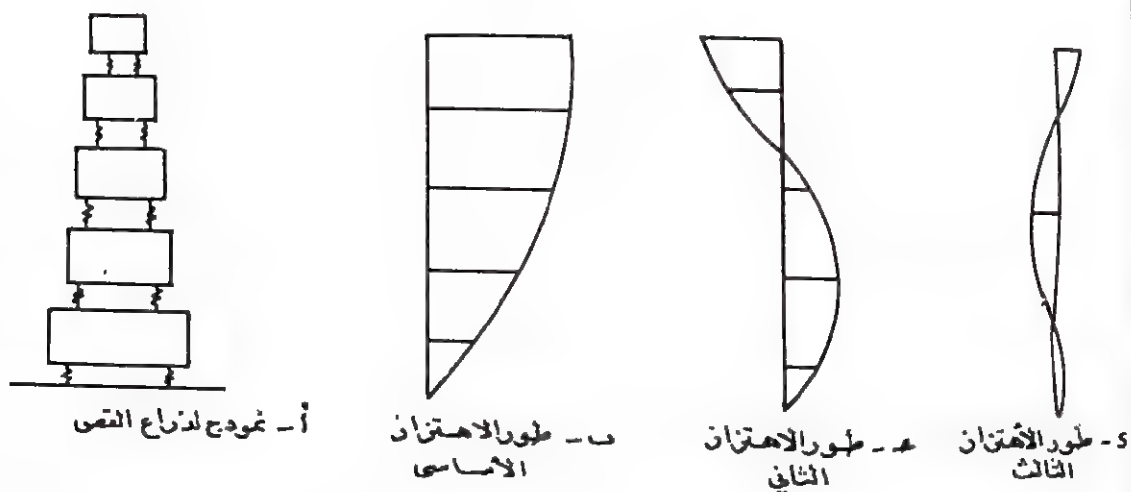
$$\alpha = \frac{B}{H} \geq 3.0$$

إن المعادلتين أعلاه هينيتين على اعتبار قيمة معامل بوسون (Poissons Ratio  $\nu$ ) للسدود الزلزالية تساوي (٠.٣٥) ، حيث أن :



$$U = x - y$$

شكل ( ١٦ ) منظومة مرفقة بسيطة مع خات لرج ( ذات درجة واحدة من الحرية ) .



شكل ( ١٧ ) نموذج لذراع القص واطوار اهتزازه ( منظومة ذات عدة درجات من الحرية )

$$G = \frac{E}{2(1 + \sigma)} \quad \dots (44)$$

$$E = 2.7 G \quad \text{أى أن :}$$

بتمويض قيمة (E) في المعادلتين أعلاه بما يعادلها من (G) نحصل على

$$T_{RS} = 2.691 \sqrt{\frac{\rho}{G}} \cdot H \quad \dots (45)$$

$$T_B = 2.612 \sqrt{\frac{\rho}{G}} \cdot H \quad \dots (46)$$

حيث أن :

$$\rho = \text{كثافة مادة السد ( غرام / سم }^3 \text{ )}$$

$$H = \text{ارتفاع السد ( سم )}$$

$$B = \text{عرض قاعدة السد ( سم )}$$

$$\alpha = \text{نسبة القاعدة للارتفاع}$$

( Elasticity Modulus ) معامل المرونة لعادة

$$E = \text{السد ( غرام / سم }^2 \text{ )}$$

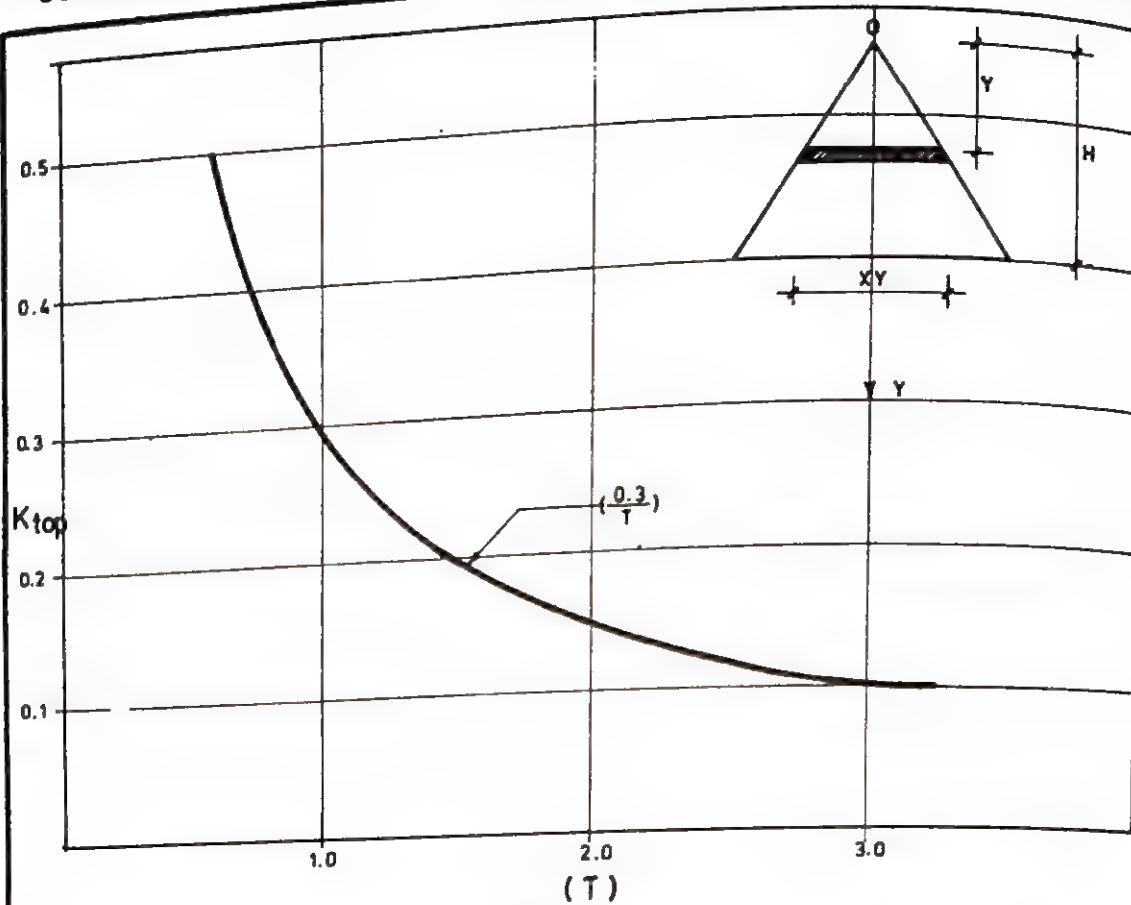
( Rigidity Modulus ) المعامل الجسوي لعادة

$$G = \text{السد ( غرام / سم }^2 \text{ )}$$

طما بأن (E) و (G) عند استخدامهما يجب أن تضرب بالتعجيل الأرضي :  $g = 981 \text{ cm/s}^2$  كما وجد هانتاكا بأن التعجيل في أى منسوب من السد يتناسب مع  $Jo(2.41 \frac{Y}{H})$  حيث أن (Jo) هي دالة بيسسل (Bessel function) وأن (Y) هو مستوى محصلة الحركة الأفقية العوارة على جسم السد بحيث أن  $Y/H$  تمثل نسبة تقع بين صفر (قاعدة السد) وواحد (قمة السد) .

ان أقصى تجاوب للسد بعوجب هذا يكون في قمته . وقد اقترح هانتاكا بأن تكون قيمة المعامل الزلزالي في قمة السد مساوية الى  $(\frac{0.3}{T_B})$  وان لا تزيد هذه القيمة عن (0.5) ولا تقل عن (0.15) (راجع شكل ١٨) . أما تغير المعامل المذكور نسبة الى مناسيب السد المختلفة فهي بعوجب دالة بيسسل وكما وضحتنا . وعليه يكون تغير المعامل الزلزالي على قمة السد كالآتي :

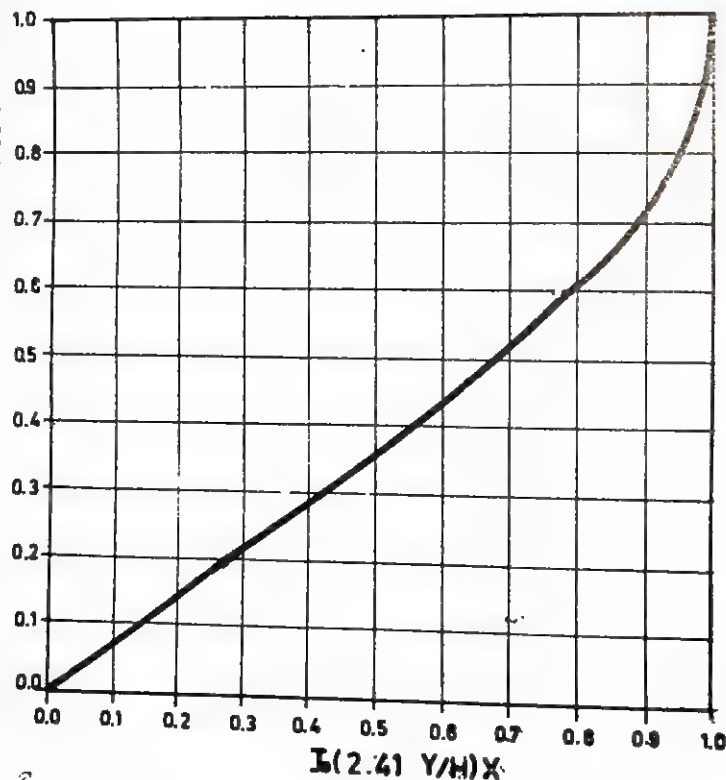
$$K_{TOP} = 0.15 \leq \frac{0.3}{T} \leq 0.5 \quad \dots (47)$$



Spectrum of Seismic Coefficient for The Dam Top ( $K_{top}$ )

$\frac{Y}{H}$

شكل (١٨) طيف المعامل الزلزالي لقمة السد بموجب هاتانكا



شكل (١٩) تغير المعامل الزلزالي

نسبة الى ارتفاع السد

بموجب هاتانكا

(From Hatanaka, 1952)

وعلى منسوب معين  $Y/H$  فان :

$$K = K_{TOP} \cdot J_0 \left( 2.41 \frac{Y}{H} \right)$$

... (48)

وقد أوجد هاتنكا تغيير الدالة  $J_0 \left( 2.41 \frac{Y}{H} \right)$  مع  $Y/H$  وكما في شكل (١٩) .  
 وهناك بعض المصممين الذين قد لا يذهبون مذهب هاتنكا باعتماد المعادلة (47) لايجهاد  
 $(K_{TOP})$  ، بل يعمدوا الى استعمال أطراف سجلات لهزات أرضية معروفة كنماذج بعد تعديلها  
 بموجب تعجيل الحركة الأرضية المتوقعة في الموقع . ومن الأمثلة على مثل هذه التطبيقات  
 السجلة تلك التي درسها هاوسنر ( ١٩٥٩ ) ( Housner, 1959 ) لخمس هزات شهيرة فسي  
 كاليفورنيا . وقد منها بشكل منحنيات لمعدل التعجيل مع زمن التجاوب (Response time) ولدرجات  
 مختلفة من الاختلاف كما في شكل ( ٢٠ ) . ونلاحظ في هذا الشكل بأن لكل هزة من الهزات الخمس  
 معامل عددي لتعديل قيمة معدل التعجيل من المنحني بما يتفق مع التعجيل الحقيقي لتلك الهزة . وفي  
 المثال التالي توضيح لطريقة هاتنكا مع استعمال فرضيته ، وكذلك منحنيات هاوسنر لايجاد المعامل  
 الزلزالي .

مثال : في النية إنشاء سد في موقع ما . وقد وجد بالدراسة بأن أقصى تعجيل محتمل للهميزات  
 الأرضية في ذلك الموقع يساوي ( ٤٠ % ) من التعجيل الأرضي .

المطلوب : ايجاد تغير المعامل الزلزالي على مختلف مناسيب السد لغراض دراسة الاستقرار ، علماً  
 بأن :

$$\rho = 1.76 \text{ g/cm}^3$$

$$G = 134000 \text{ g/cm}^2$$

$$H = 50 \text{ m.}$$

$$S = 1.75$$

$$B = 175 \text{ m.}$$

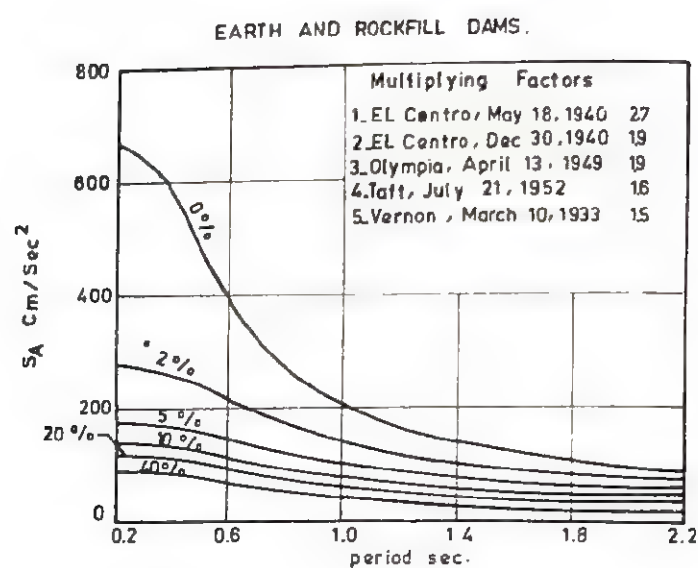
( انحداري المنحدرين الامامي والخلفي )

أولاً : بموجب هاتنكا ( ١٩٥٢ )

لايجاد فترة تردد السد فان نسبة القاعدة للارتفاع هي :

$$\alpha = \frac{B}{H} = \frac{175}{50} = 3.5$$





Average Acceleration Spectrum Curves

شكل (٢٠) منحنيات طيف معدل التميعيل لهاوسنر

(From Housner, 1959)

وطى هذا الاساس فان فترة اهتزاز السد تخضع للمعادلة (46) بحيث أن :

$$T_B = 2.612 (5000) \sqrt{\frac{1.76}{(134 \times 10^3) 981}}$$

$$= 1.5 \text{ s}$$

وبعرجب فرضية ماتلانا (47) يكون المعامل الزلزالي محسوب على قمة السد  $(K_{TOP})$  هو :

$$K_{TOP} = \frac{0.3}{1.5} = 0.2$$

أى أن التعجيل الارضي على قمة السد يبلغ 20 % أو

$$196.2 \text{ cm/s}^2$$

وباستعمال معادلة (48) والشكل ( ١٩ ) نحصل على القيم التالية للمعامل الزلزالي فـ  
المناسيب المختلفة •

جدول رقم ( ١١ )

المنسوب	المعامل الزلزالي سم / ثا <sup>٢</sup>
٥٠	١٩٦ر٢
٤٠	١٨٨ر٩
٣٠	١٥٤ر٦
٢٠	١٠٦ر٩
١٠	٥٢ر٩
صفر	صفر

ثانياً : بموجب أسلوب هاوستر ( ١٩٥٩ ) فيجب اختيار نموذج لهزة أرضية حقيقية اخذين بنظر الاعتبار أقصى تعجيل افقي ( قصي ) مسجل لتلك الهزة ( انظر الشكل ٢٠ ) • فلو وقع اختيارنا على نموذج الهزة الارضية التي حدثت في منطقة السنترو ( El Centro ) في كاليفورنيا عام ( ١٩٤٠ ) كنموذج تصميبي وطمنا بأن أقصى تعجيل مسجل لهذه الهزة هو 33 % من التعجيل الارضي فمن الممكن الاستعانة بالشكل ( ٢٠ ) بافتراض معامل اخماد معين • ولو اخترنا معامل اخماد 10 % ( وهو ثالث منحني من

الأسفل على الشكل (٢٠) ولفترة اهتزاز  $T_B = 1.5$  تحصل على أقصى تعجيل ، وفي هذه الحالة فهو

$$S_A = 60 \text{ cm/s}^2$$

الآن ، ومن أجل احتساب التعجيل الأرضي على قمة السد نسبة إلى نموذج هزة السنتروم مع الأخذ بنظر الاعتبار أقصى تعجيل أرضي محتمل للمنطقة Expected Peak Ground Acceleration (محسب من خلال تطبيق الطرق الاحتمالية على ملفّة المعلومات الزلزالية للموقع ولعمر اقتصادي معين) والذي يبلغ 40% في مثالنا نحتاج إلى إدخال معامل التصحيح الخاص لهزة السنتروم وهو 2.7 من الشكل ، وبذلك فإن :

$$\text{التعجيل الأرضي على قمة السد} = \frac{(60)(0.40)}{0.33(2.7)}$$

$$196.2 \text{ cm/s}^2 =$$

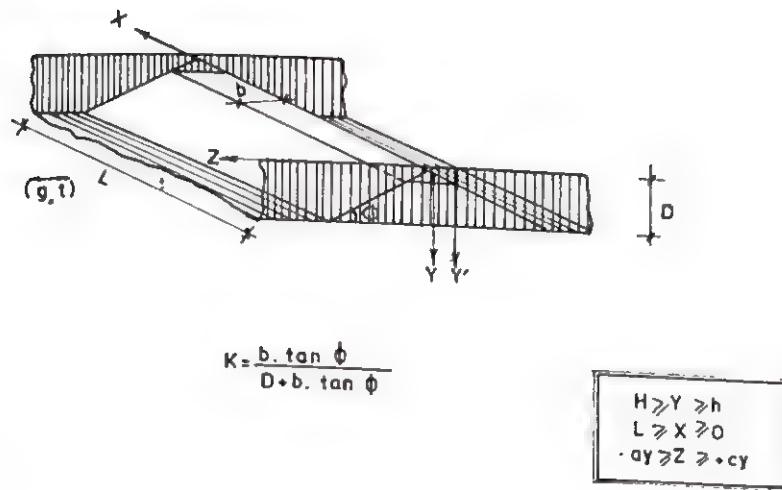
من الملاحظ هنا التطابق في النتائج بين طريقتي هاتلوكا وهامستر ، وبالطبع فلا يشترط هذا التطابق في كافة الأحوال .

لقد طور امبريزي (١٩٦٠) هذا النموذج ، حيث قام بدراسة المعامل الزلزالي لعدد من الأشكال بحيث يكون الاهتزاز باتجاهين أفقيين متعامدين . فقد اشتق قيمة المعامل المذكور لجسم مرن ومثال كما اشتق لجسم مثلث ومنظم على أساس من ذو عمق لا نهائي وحل المعادلات التفاضلية لاهتزاز جسم ذو مقطع بشكل شبه منحرف (شكل ٢١) كما هو الحال بالنسبة للسدود الركامية ووجد بأن الترددات للاهتزاز الحر للسد تخضع للمعادلة التالية :

$$Wmr = \left( \frac{S}{D} \right) (1 - K'') \left[ a_n^2 + \left( \frac{\pi(1-K'')}{\mu} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots (49)$$

في هذه المعادلة :

m =	مؤشر لتمثيل الخواص بالاتجاه المستعرض
r =	مؤشر لتمثيل الخواص بالاتجاه الطولي
W = undamped frequency	التردد الحر (بدون اخمد)
S = velocity of shear wave	سرعة العوجة القصية
D = Height of Dam	ارتفاع السد



شكل ( ٢١ ) طريقة أمبريزي للتحليل اللزج - المرن •

(From Ambraseys, 1960 a)

$K''$  = Coefficient of truncation

معامل الشكل

$$K = \frac{b \cdot \tan \phi}{H + b \cdot \tan \phi}$$

لتعريف  $(\phi)$  و  $(b)$  راجع شكل (٢١)

$a_n''$  =

قيم عددية مرتبطة بمعامل الشكل راجع جدول (١٢)

$\mu$  =

نسبة الطول الى الارتفاع للجسم المعترض

اما المعامل الزلزالي في هذه الحالة فقد اشتقه امبريزى وهو يعرجب المعادلة التالية :

$$K = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1,2}^{\infty} \sum_{r=1,3}^{\infty} r^{-1} \sin \left( \frac{r\pi x}{L} \right)$$

$$\frac{J_0(a_n'') Y_0(a_n'') - J_0(a_n'') Y_0(a_n'')}{J_0^2(a_n'') / J_1^2(K'' a_n'') - 1} \dots (50)$$

حيث أن :

$$g = 981 \text{ cm/s}^2$$

التعجيل الارضي = ٩٨١ سم / ثا<sup>٢</sup>

$$J_0, J_1 =$$

دالات بيسل

ولتبسيط الحالة فقد اخذ امبريزى الاهتزاز باتجاه واحد فقط أى ما يمكن تسميته الاهتزاز  
الاحادى الاتجاه (One Dimensional Vibration) • بذلك تصبح المعادلة (49)  
بالشكل التالي :

$$w_{on} = (S/D) (1 - K'') a_n'' \dots (51)$$

بينما يمكن تبسيط معادلة المعامل الزلزالي (50) لتصبح بالشكل التالي :

$$K_n = A_n (w_{on}^2 / g) (D/S)^2 S a_n \dots (52)$$

$S_g$  = تعجيل الحركة الارضية



من هذه المعادلة يمكننا إيجاد التعجيل في أية لحظة زمنية ( $t$ ) وبأى منصوب من مناسيب المسد وذلك بجمع كافة التعجيلات لاطوار الحركة الأرضية خلال الفترة الزمنية من ( صفر ) وحتى ( $t$ ) . وقد اقترح أمبريزي اخذ الاطوار الثلاثة الاولى فقط ، حيث ان ذلك يعطينا دقة كافية لاغراض التصميم . ان قيمة الحد ( $k_n$ ) يمكن استخراجها من الشكل ( ٢٢ ) ، وذلك لاطوار الحركة الثلاثة الاولى حيث يمكننا عندئذ إيجاد قيمة ( $k_n$ ) لهذه الاطوار بعد استعمال المعادلة (52) كما ان قيمة ( $a_n''$ ) لاطوار الحركة هذه ان تستخرج من جدول ( ١٢ ) التالي : —

جدول رقم ( ١٢ )

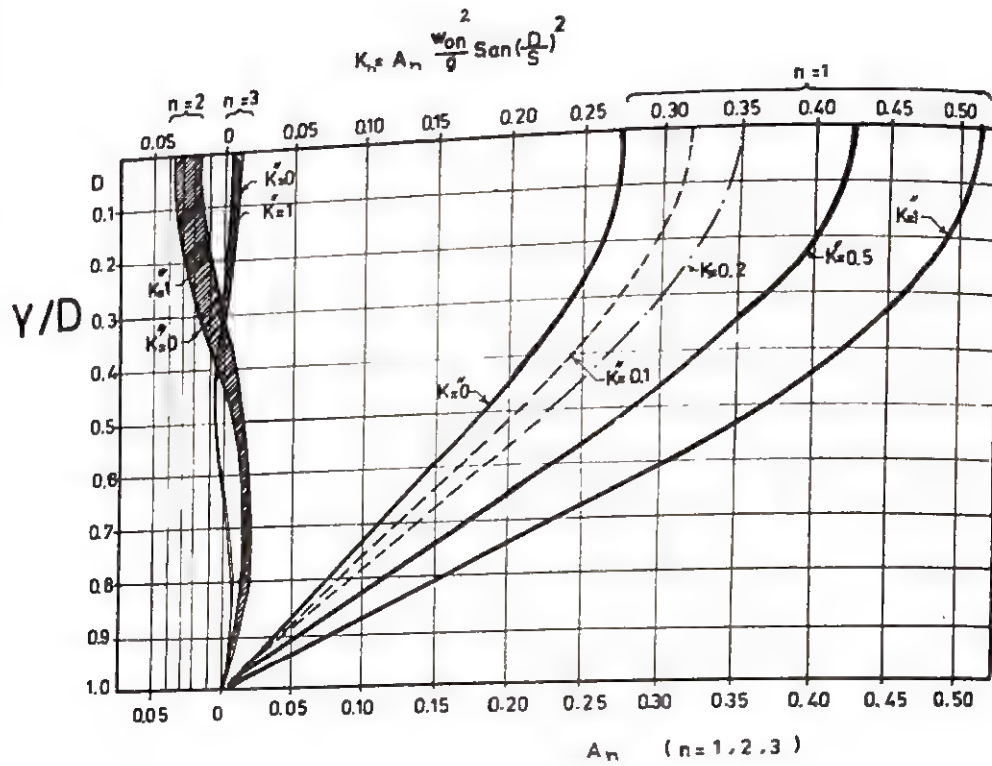
قيم  $a_n''$  لاطوار الحركة بازدياد المعامل الزلزالي حسب المعادلة ( 52 )

$k''$	$a_1''$	$a_2''$	$a_3''$	$a_4''$	$a_5''$	$a_6''$
0.000	2.40	5.52	8.65	11.79	14.93	18.07
0.100	2.45	5.72	9.30	12.60	15.98	19.41
0.158	2.51	5.97	9.66	13.60	16.90	20.66
0.200	2.57	6.23	10.05	13.92	17.81	21.71
0.250	2.67	6.58	10.67	14.80	18.96	23.13
0.300	2.79	6.99	11.39	15.83	20.29	24.76
0.500	3.59	9.60	15.82	22.07	28.34	34.61
0.800	0.21	23.69	39.34	55.34	70.73	86.43

وقد اقترح أمبريزي إيجاد متوسط المعامل الزلزالي لأى منصوب بأحدى المعادلتين التاليتين :

$$K = \left( \sum_{n=1}^{n=m} K_n^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots(53)$$

حيث ان ( $m$ ) هو عدد اطوار الحركة المأخوذة بنظر الاعتبار ( في ثلاثة حدود ) .



شكل (٢٢) منحنيات لاستخراج المعامل الزلزالي حسب طريقة امبريسوي  
(From Ambraseys, 1960 b)

أما التعجيل ( $\ddot{u}$ ) فهوخذ من طيف التعجيل (Acceleration spectrum) للموقع تحسب الدراسة • وفي حالة عدم توفر مثل هذا الطيف فقد اقترح أمبريزي حلا بديلا • ففي هذه الحالة افتراض أمبريزي بأن السد ( تحت تأثير قوى الاخماد ) يتجاوب خلال الطور الأول من حركته وبدرجة كاملة (Full Cycle) مع مركبة التعجيل للحركة الأرضية ويقدر يساوى التعجيل الزلزالي الأقصى (PGA) بموجب خرائط الاحتمالات الزلزالية • وتسمى هذه الطريقة في التصميم بطريقة السلسلة الرئيسية (Resonance Design Method) • وقد بين أمبريزي بأن الاحتمالات ضئيلة جدا في تجاوب السد لأكثر من دورة واحدة مع الحركة الأرضية وبصورة متوالية بنفس فترة الطور الاساسي لتلك الحركة وبصورة عمودية على محوره وبغیر التعجيل الأقصى للمنطقة • وان وقوع كافة هذه الامور في لحظة واحدة يعتبر أمورا في غاية الندرة •

ما سبق افترض أمبريزي إمكانية استبدال  $Sa$  بالمقدار  $\bar{S}(\lambda) \cdot (PGA)$

حيث أن  $\bar{S}(\lambda)$  هو معامل التكبير (Magnification factor) • وقد وجد أنه أمبريزي كدالة لمعامل الاخماد لمادة السد ( $\lambda$ ) وبموجب الجدول التالي :

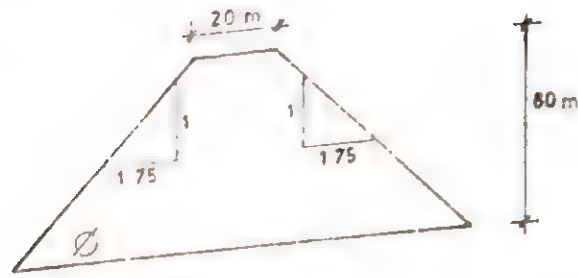
جدول رقم ( ١٢ )

قيم معامل التكبير نسبة الى معامل الاخماد

$(\lambda)$	0	5%	10%	15%	20%	25%	30%
$\bar{S}(\lambda)$	3.14	2.75	2.34	2.12	1.80	1.63	1.40

ويمكن توضيح الطريقة التي اقترحها أمبريزي بمثال حسابي لسد ارتفاعه يساوى ( ٦٠ ) متر وعرضه من الاطراف يساوى ( ٢٠ ) متر وانحدارات المنحدرين الامامي والخلفي تساوى ( ١ : ١ ) ، حيث يدرج الجدول ( ١٤ ) نتائج الطريقة • بينما يوضح الشكل ( ٢٢ ) تغيير المعامل الزلزالي في المناسيب المختلفة من السد •

أما أمبريزي وسارما ( ١٩٦٧ ) ( Ambraseys and Sarma, 1967 ) فقد أوضحوا العوامل المؤثرة على المعامل الزلزالي وهي فترة التردد الاساسي للسد ( $T_0 = 2.61 H/S$ ) ومعامل الاخماد وطبيعة الحركة الأرضية • وذلك من دراسة العديد من التسجيلات لهزات أرضية مهمة وخاصة هزة ( السترو ) • وقد أيدا ما توصل اليه الباحثون سابقا حول ازدياد التعجيل المؤثر عن نقطة ما في السد بارتفاع وموقع تلك النقطة في جسم السد ( انظر الشكل رقم ٢٤ ) • وأوجدا كذلك بأن هذا التعجيل بصورة عامة يفوق تعجيل الحركة الأرضية نفسه بنسبة اسميها نسبة التكبير (Magnification Ratio) • وقد تمكنا من رسم العلاقة البيانية لنسبة التكبير هذه وفترة التردد الاساسي لاهتزاز جسم السد وعلى الارتفاعات المختلفة للسد •

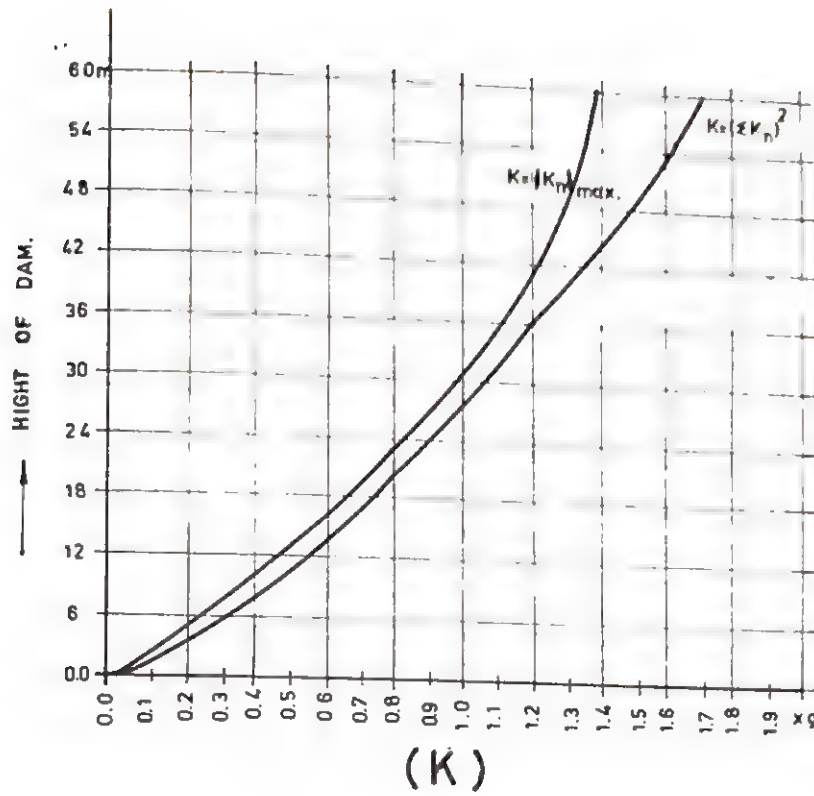


$$\tan \phi = 0.5714$$

$$K = \frac{b \tan \phi}{D + b \tan \phi} = \frac{20 \times 0.5714}{60 + 20 \times 0.5714} = 0.16$$

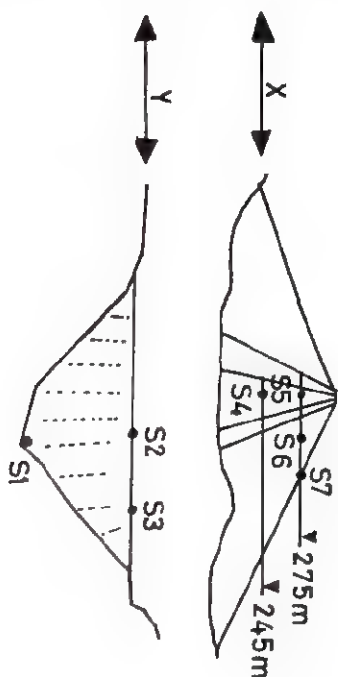
K	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>					
0.16	2.51	5.97	9.66					
	W <sub>01</sub>	W <sub>02</sub>	W <sub>03</sub>					
	2.11 ( $\frac{S}{D}$ )	5.01 ( $\frac{S}{D}$ )	8.11 ( $\frac{S}{D}$ )					
W <sub>0n</sub>	4.45 ( $\frac{S}{D}$ ) <sup>2</sup>	25.10 ( $\frac{S}{D}$ ) <sup>2</sup>	65.77 ( $\frac{S}{D}$ ) <sup>2</sup>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	$\left[ \sum_{n=1}^{n=3} K_n \right]^{\frac{1}{2}}$	$\left[ K_n \right]_{\max}$
Y/D	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>					
0.0	0.330	0.035	0.005	1.4685	0.8785	0.3288	1.74	1.47
0.1	0.325	0.033	0.005	1.4462	0.8283	0.3288	1.70	1.45
0.2	0.315	0.003	0.001	1.4017	0.0753	0.088	1.41	1.40
0.3	0.315	0.015	0.000	1.2683	0.3785	0.000	1.29	1.27
0.4	0.260	0.005	0.005	1.1570	0.1255	0.3288	1.23	1.18
0.5	0.220	0.010	0.005	0.9790	0.2510	0.3288	1.04	0.96
0.6	0.175	0.015	0.003	0.7788	0.3785	0.1873	0.89	0.78
0.7	0.125	0.015	0.000	0.5582	0.3785	0.000	0.87	0.58
0.8	0.087	0.015	0.005	0.3871	0.3785	0.3288	0.83	0.39
0.9	0.040	0.010	0.005	0.1780	0.2510	0.3288	0.45	0.33
1.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

جدول رقم (١٤) مثال يوضح طريقة امبريزي لاحتساب المعامل الزلزالي (K) لمناصب مختلفة من السد .



شكل (٢٣) - تغيير المعامل الزلزالي حسب ارتفاع السد للمثال السابق





S1X |-----|  
S1Y |-----|

S2X |-----|  
S2Y |-----|

S3X |-----|  
S3Y |-----|

S4X |-----|  
S4Y |-----|

S5X |-----|  
S5Y |-----|

SECONDS

شكل (4) تغير البعيل الدرعي المسجل في نقاط مختلفة  
في جسر كينياما في اليابان  
(FROM: OKAMOTO, 1973)

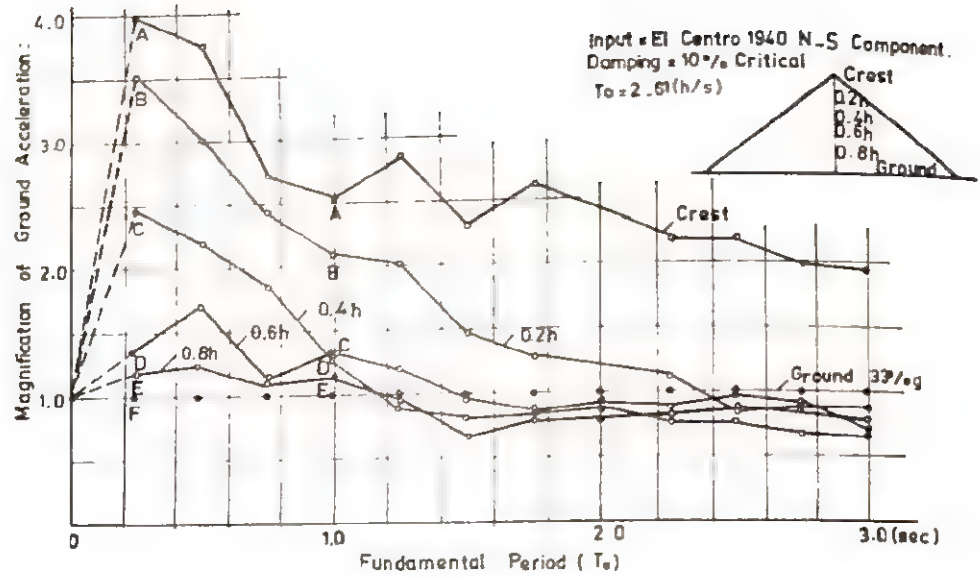
هذا ويظهر الشكل (٢٥) العلاقة البيانية لنسبة التكبير لهزة (السترو) (المركبة الشعالية - الجنوبية) وبمعامل أخمد (١٠%) كما أن الشكلين (٢٦) و (٢٧) يعطيان هذه العلاقة البيانية لمعاملتي أخمد (٢٠%) و (٤٠%) .

وكما يبدو لأول وهلة فإن المشكلة الرئيسية التي قد تعترض تطبيق هذه الطريقة لأغراض التصميم هو التنبؤ بخواص الهزات الأرضية المستقبلية التي قد يتعرض لها السد ١٠ إلا أن (أمبريزي وسارما) وجدا من دراسة تسجيلات العديد من الهزات الأرضية المهمة بأن الشكل العام لاطياف نسبة التكبير لهذه الهزات متشابه وأن أخطأت القيم المطلقة للتسجيل الأقصى بها ، لذا فقد تمكنا من رسم مجموعة من المنحنيات تمثل المعدل لتغير نسبة التكبير هذه ولمعامل أخمد (٢٠%) كما تمكنا من إيجاد منحنيات لتصحيح القيم هذه لمعاملات الأخمد الأخرى كما في شكل (٢٨) وشكل (٢٩) ، لهذا وعلى اعتبار أن طبيعة الهزات المستقبلية مشابهة لطبيعة الهزات الأرضية التي درست فإنه يمكن استعمال هذين الشكلين لأغراض التصميم والدراسات . وهذا تجدر الملاحظة بأن الشكل (٢٨) يعطيها قيم لنسبة التكبير الحاصلة على ارتفاعات السد المخططة ١٠ إلا أن هذه القيم لا تحصل بالضرورة كلها في آن واحد خلال الهزة الأرضية . كما أن هذه القيم لا تبين اتجاه التعجيل أي بمعنى أن التعجيل في مستوى معين قد يكون باتجاه ما ، بينما يكون في المستوى الآخر في الاتجاه المعاكس في نفس اللحظة ، لذلك فإن استعمال هذه المنحنيات لإيجاد تغير التعجيل لجزء كبير من السد قد يعطيها قوى قصور ذاتي أكبر من الواقع وقد يقودنا إلى صورة تخطف تماما عن ما هو حاصل فعلا ، لذا ومن أجل استعمال هذه المنحنيات لأغراض التصميم يجب أن يكون الجزء المدروس صغير جدا . كما أن ليس هناك أي بأس من استعمالها في تصاميم السدود الصغيرة أو في تصاميم منشآت صغيرة ضمن السد .

لتلخيص هذا القصر الخطير فقد عمدا أمبريزي وسارما للاستفادة من النتائج التي حصلوا عليها والتي شرحناها بتطبيقها على أجزاء صغيرة من السد أو شرائح بشكل مشابه لطرق تحليل الاستقرار الساتاتيكية ، وذلك بأن يفترض أولا سطح الانزلاق المحتمل كما في هذه الطرق وقد يكون في الغالب قوسيا ثم يقرب شكل هذا السطح بواسطة خطوط مستقيمة ويحدد ما تقسم الكتلة المعرضة للانزلاق التماسي تم تحديد ما إلى شرائح .

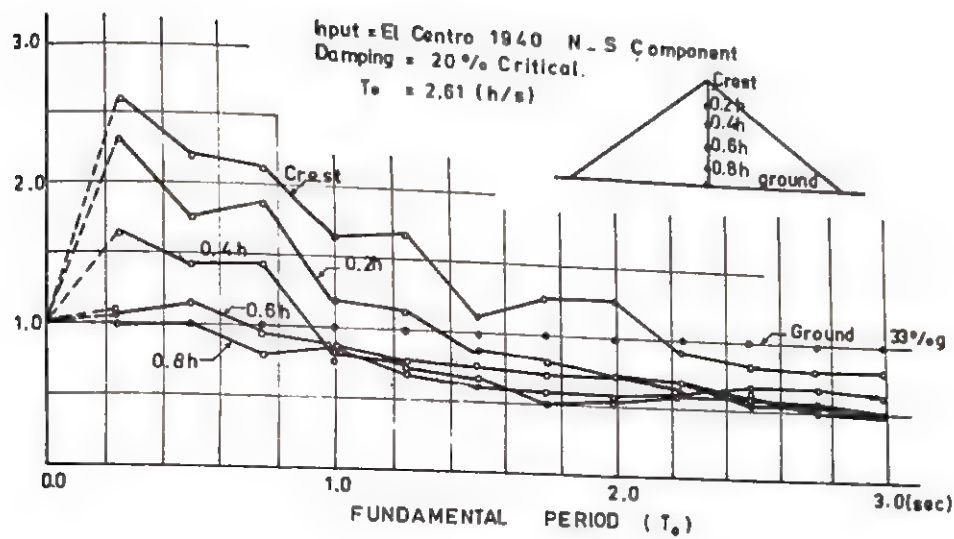
فلو نظرنا إلى الحالة الخاصة في شكل (٣٠) ، حيث أن الكتلة المنزلقة تعرضها للشد وأن قاعدتها تقع في مستوفى أسس فإنه يمكن دراسة احتمالات انزلاق هذه الكتلة بالاعتماد على ما توصل إليه أمبريزي (١٩٦٠) (Ambraseys, 1960) من أن التعجيل الأفقي المطلق في أي منصوب (Y) تحت الهامة في أية لحظة زمنية خلال الهزة يساوي :

$$U_a''(Y,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \phi_n(Y) \cdot S a_n \quad \dots (55)$$

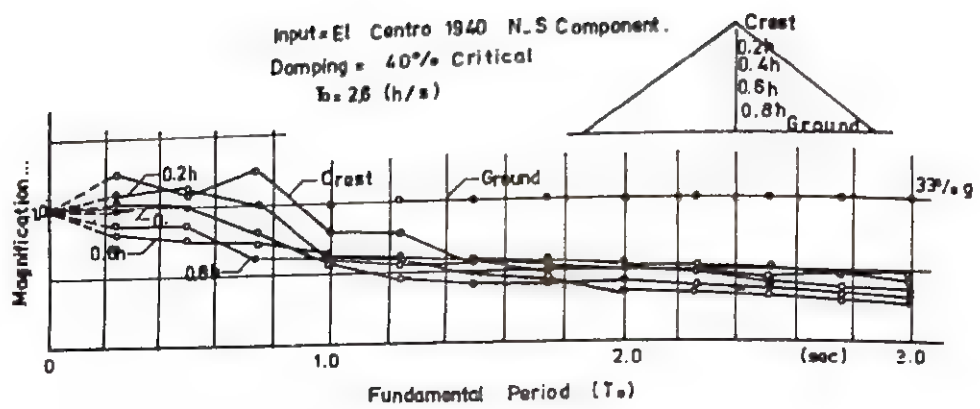


شكل (٢٥) تغيير نسبة التكبير (للمركبة الشمالية - الجنوبية) في هزة السنترو  
مع فترة التردد للطور الاساسي (بمعامل اخمد ١٠٪)

(From Ambraseys and Sarma, 1967)



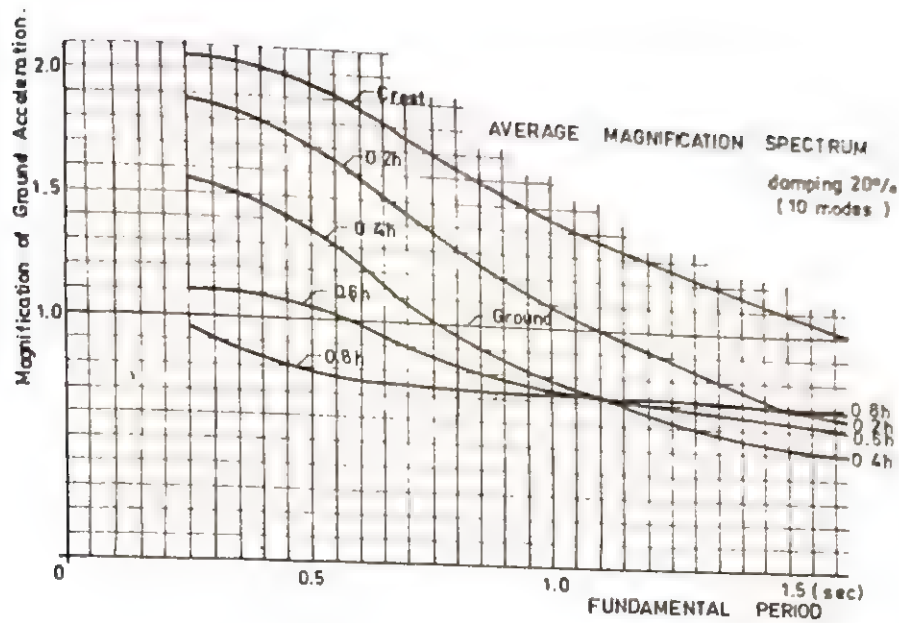
شكل (٢٦) تغيير نسبة التكبير (للمركبة الشمالية - الجنوبية) في هزة  
السلترو مع فترة التردد للطور الاساسي (معامل اخمد ٢٠%) .  
(From Ambraseys and Sarma, 1967)



شكل (٢٧) تغيير معامل التكبير (للمركبة الشطالية - الجلووية) في هزة  
السنتر مع فترة التردد للطور الاساسي (معامل اخطاد ٤٠ %).

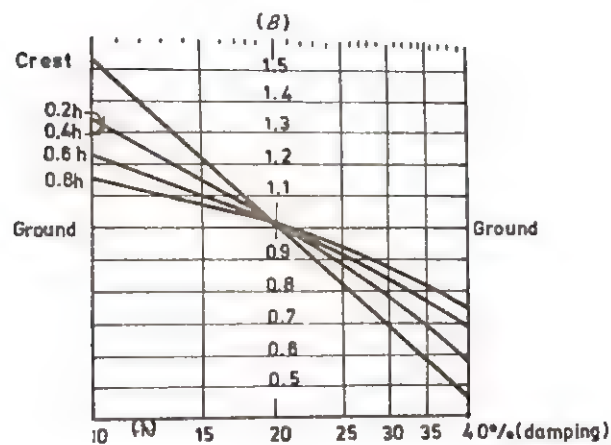
(From Ambraseys and Sarma, 1967)





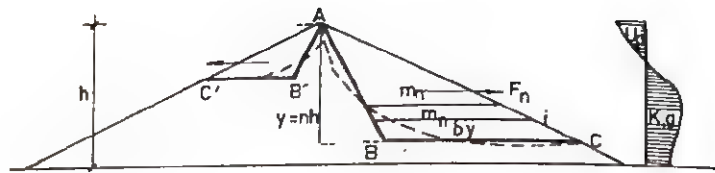
شكل (٢٨) معدل طيف التكبير (معامل اخلاط ٢٠٪)

(From Ambraseys and Sarma, 1967)



شكل (٢٩) معدلات تصحيح القيم لمعاملات الاخلاط المختلفة لشكل (٢٨)

(From Ambraseys and Sarma, 1967)



شكل ( ٣٠ ) . حالة الانزلاق لكتلة مارة بقمة السد وقاعدتها في مستوى فوق مستوى الأنس

(From Ambraseys and Sarma, 1967)

حيث ان المعادلة (55) اما هي شكل اخر من المعادلتين (52) و (53) مدمجتين معا • وان  $\phi_n (Y)$  هي دالة للابعاد الهندسية للسد و  $(S_{an})$  دالة لخواص المرونة للسد وخواص اخلاصها للحركة اضافة الى التغير الزمني لتعجيل الحركة الارضية.

ويمكن احتساب تعجيل كل شريحة • فالشريحة (i) ذات الكتلة  $(m_i)$  تكون ذات تعجيل  $(K_i g)$  • وان القوة العمودية على هذه الشريحة ستكون  $(m_i K_i g)$  • أما القوة الكلية  $(F_n)$  العمودية على الكتلة المنزلقة في لحظة ما فتكون مجموع كافة القوى العمودية على كافة الشرائح •

حيث أن :

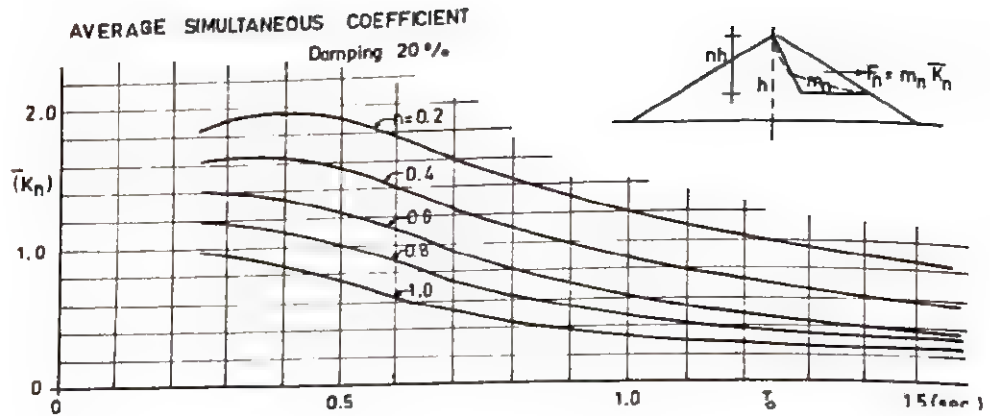
$$F_n = \sum_{i=0}^n K_i m_i g = \bar{K} \cdot g_{\max} \sum_{i=0}^n m_i$$

أي أن :

$$\bar{K}_n = \frac{\sum_{i=0}^n K_i m_i g}{g_{\max} \sum_{i=0}^n m_i} \quad \dots (56)$$

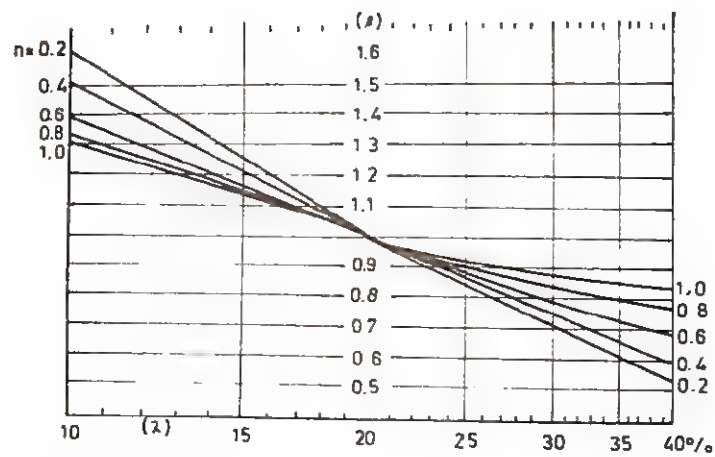
حيث أن  $(\bar{K}_n)$  هو معدل المعامل الزلزالي الآتي المؤثر على كتلة الانزلاق برمتها و  $(g_{\max})$  هو التعجيل الاقصى المصاحب للحركة الزلزالية •

باستعمال هذه الطريقة ولعدة هزات أرضية تمكنا امبريزي وسارما من رسم منحنيات تمثيل تغير معدل المعامل الزلزالي الآتي لاستعماله في حسابات استقرارية الكتل المنزلقة للحالة الخاصة التي ذكرناها • راجع شكل ( ٣١ ) وشكل ( ٣٢ ) • ان الحالة العامة لشكل كتلة الانزلاق تتمثل بالشكل (٣٣) • حيث لا يشترط مرور سطح الانزلاق بهامة السد كما أنه قد يمر من خلال أسس السد • وتحدد المتغيرات  $(\theta)$  •  $(\phi)$  •  $(n)$  شكل سطح الانزلاق كما يحدد  $(m)$  ابعاد السد • ولجعل المسألة أسهل للحل فقد أوجدنا الباحثان تغير  $(\bar{K}_n)$  بجعل  $(m = 1:1.25)$  وجعل  $(\phi)$  تساوي  $(0.40)$  وكما في الشكل ( ٣٤ ) •



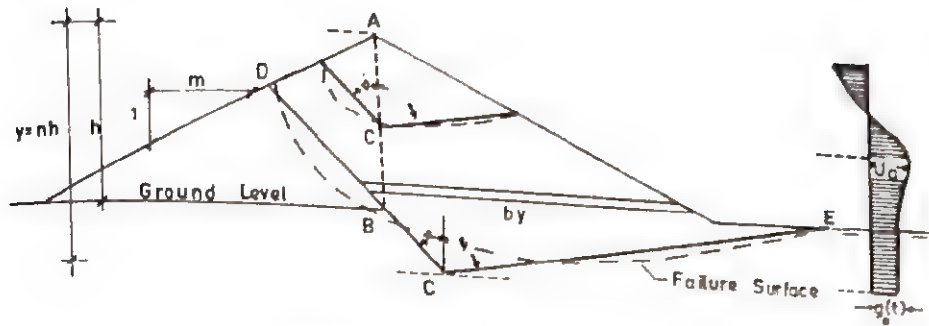
شكل (٣١) معدل المعامل الزلزالي الانبي (معامل الاختلاف ٢٠٪)

(From Ambraseys and Sarma, 1967)

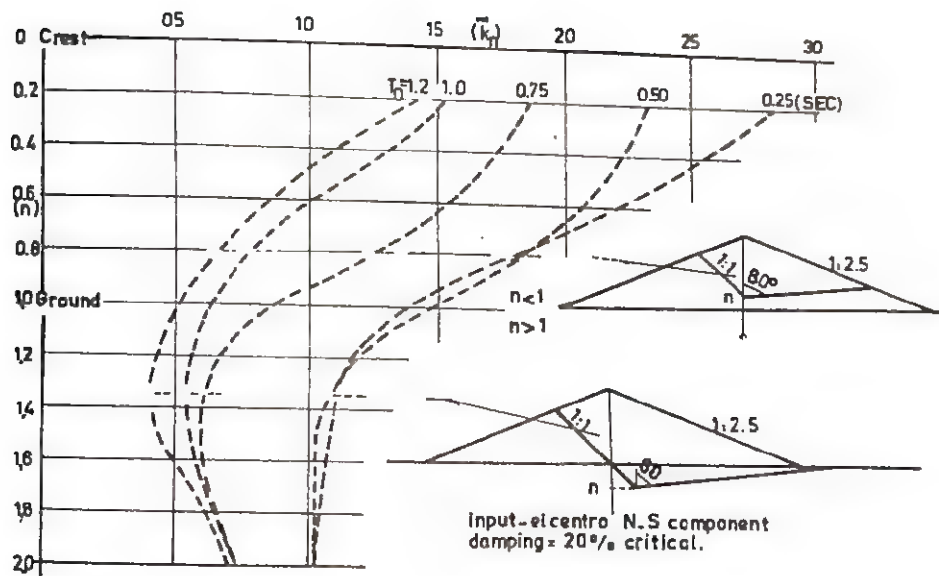


شكل (٣٢) محليات تصحيح القيم لمعاملات الاختلاف المختلفة لشكل (٣١)

(From Ambraseys and Sarma, 1967)



شكل (٣٣) الحالة العامة للانزلاق •  
(From Ambraseys and Sarma, 1967)



شكل (٣٤) . تغير معدل المعامل الزلزالي الآتي لكتلة المتزلز مع  
فترة التردد الانسائي و  $(n)$  .  $(m = 1:2.5, \theta = 45^\circ)$   
(From Ambraseys and Sarma, 1967)



وبالطبع فإن قيمة المعامل الزلزالي الآتي الذي نحصل عليه من المعطيات التي أشرنا إليها سواء للحالة العامة أو للحالة الخاصة ، إنما هي قيمته في لحظة معينة • فلا بد أن نضمن تدقيق وضعية الاستقرار خلال المجال الزمني الكامل للفترة لغرض التوصل إلى أسوأ الوضعيات بالنسبة للاستقرار • ويتم ذلك بلعادة التحليل بأخذ فترات زمنية متتالية وإجراء التحليل مجددا وهذا يعكس عدد كبير من الحالات وحجما كبيرا من الحسابات • إلا أن توفر برامج للحاسبة الالكترونية قد جعل العمل الأمر ممكنا •

وفي ختام هذا العرض لابد لنا من التطرق إلى مساوئ طرق التحليل الخاصة بالتجاوب (اللزج المرن) ويمكن خلاصتها بما يلي :

- نفترض معظم هذه الطرق ضمنا بأن أقصى قيمة للمعامل الزلزالي في أي علق تتوافق مع أقصى قيمة للمعامل المذكور في الأعماق الأخرى • وهذا غير صحيح • حيث أن هذا التوافق غير موجود • كما أنه قد يحصل بأن اتجاه التعجيل في منسوب ما معاكس لاتجاه التعجيل بالمسبب الأخر • لذا فإن قوى القصور الذاتي المحسوبة بهذه الطريقة قد تكون أعلى من الواقع أو قد تكون مغايرة بدرجة كبيرة •

- أن استعمال المعامل الزلزالي المحسوب بهذه الطريقة يقود عادة إلى الاعتقاد الخاطيء بأن معامل الأمان إذا ما قل عن ( واحد ) فإن السد سوف ينهار • إلا أن واقع الحال لا يكون كذلك • فتكون قوى القصور الذاتي قوى ديناميكية بطبيعتها يعني إمكانية أن يقل معامل الأمان عن ( واحد ) في لحظة ما إلا أن السد لن ينهار طالما كانت المطاوعة النسبية المتراكمة تقل عن المطاوعة النسبية اللازمة لفقدان مادة السد لمقاومتها الستاتيكية •

- أن أي من طرق التجاوب التي شرحناها والتي نفترض بأن السد مكون من شرائح لها نواحيين بعدها من واقع الحال • فافتراض تجاوب السد للحركة الأرضية ناتج عن قوى القص بين الشرائح فقط غير صحيح • حيث ثبت بأن هناك قوى أخرى تنتج عن الحركة الأفقية تنجم من المطاوعة بالانضغاط عموديا • وكذلك من الشد • وأن ذلك يؤدي إلى تغير الشكل العام للاجهادات • كما أن هذا الشكل من التحليل يأخذ بعين الاعتبار الاهتزاز الأفقي فقط من الحركة الأرضية • بينما يهمل تماما تأثير الاهتزاز العمودي •

(Dynamic Analysis - General)

٣٠٥ التحليل الديناميكي ( بصورة عامة )

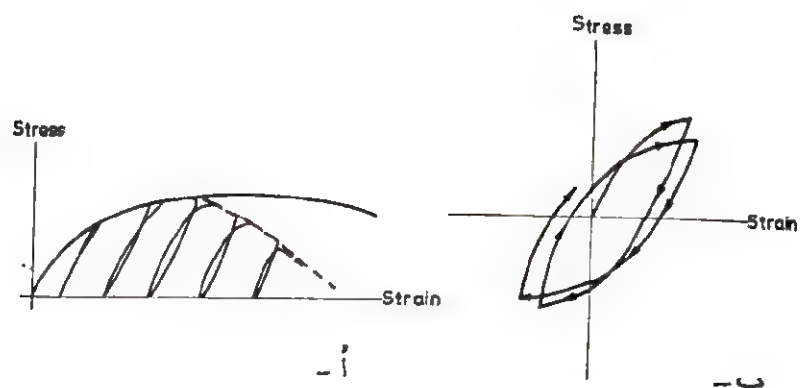
لا بد لنا في البدء من أن ننوه بأن الأسلوب شبه الاستاتيكي كونه يعامل الاستقرار كونه كان القوى المعروفة في حالة سكون فأنه في نفس الوقت يعامل صفات وخواص المواد المعروفة للسداد أو المنحدر ومقاومتها لنفس حالة السكون هذه • وهذا ما ينتقد عليه الأسلوب المذكور • ففي الحركة

الامتزازية الناتجة عن الحركة الأرضية وخلال الهزة تتغير قيمة الاجهادات كما في شكل ( ٢٥ ) • كما  
قد تتغير قيمة واتجاه الاجهادات كما في شكل ( ٢٥ ب ) • ويكون النض والتناوب بالاجهاد  
(Pulsation and Reversal) سريعا في المادة • وطالما كانت المطاوعة صغيرة نسبيا في الكثير  
(Boundary Curve) للعلاقة بين المطاوعة والاجهاد  
من الترب يكون المنحني الحدودي  
الناهي هو نفسه وكان الاجهاد مضاف لمرة واحدة فقط • الا أننا نرى في بعض الترب الاخرى ومعهد  
الوصول الى مطاوعة معينة بأن المنحني المحدد للاجهاد يغير اتجاهه نحو الاسفل ويبدأ بالانخفاض  
كما في الشكل ( ٢٥ ) ( المنحني المنقط ) • وهذا يعني بأن مقاومة التربة تنخفض نتيجة لنض الاجهاد  
المستمر • وينتج عن الشيء في حالة تغير اتجاه الاجهاد المتكرر والمستمر ، حيث تكون مقاومة التربة  
بعد عدد من النوبات أقل من مقاومتها الاصلية •

ان من الملاحظة الواقعية التي تثبت بأن مقاومة التربة الفاعلة خلال الهزة الأرضية هي مختلفة  
عن قيمتها تحت تأثير القوى الستاتيكية وانها دالة للتغير الزمني للاجهادات المؤثرة خلال الهزة  
هو ما حصل للعديد من المنحدرات الطبيعية في انكوج خلال هزة الاسكا ( ١٩٦٤ ) • ان انهيار  
هذه المنحدرات لم يحصل الا بعد دقيقتين من بداية الحركة الأرضية أي بعد تحقق التعجيل الاقصى  
للهزة ببعض الوقت • وهذا يعني بأن التربة قد فقدت مقاومتها بصورة تدريجية خلال الهزة الأرضية  
نتيجة للانخفاض التدريجي في مقاومة التربة ولتراكم الازاحات • وتظهر الفحوصات المختبرية صحة  
هذا الاستنتاج ، لذا يحتبر فحص التحميل الثلاثي المتكرر (Cyclic Triaxial Loading Test)  
من الفحوصات المختبرية المهمة لمحاكاة الوضعية الحقيقية في الحقل ويعطينا معلومات تقارب الواقع  
عند تعرض التربة للقوى الديناميكية •

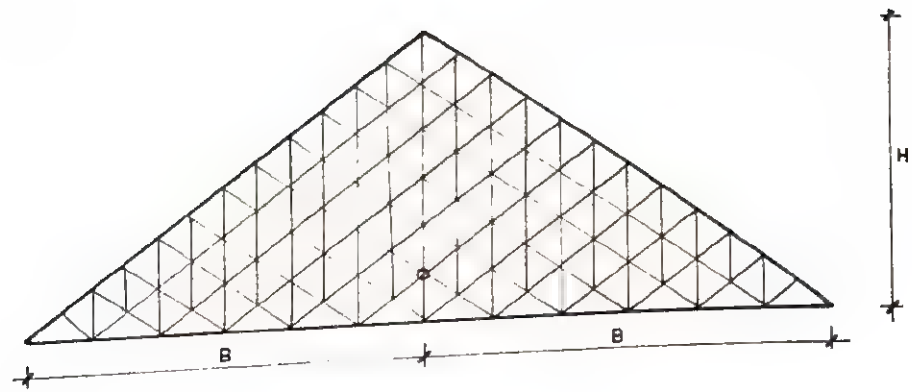
ان اسلوب التحليل الديناميكي يأخذ بعين الاعتبار التغير الحاصل في خواص ومقاومة مواد السد  
أو المنحدر نتيجة للتأثيرات الديناميكية للقوى المؤثرة • كما أنه يأخذ بالحسبان التأثيرات على ضغط  
الماء السامي ، إضافة الى تغير حجم المساميات وحتى كثافة المادة •  
وكما بينا سابقا فإن قوى القصور الذاتي خلال الهزة الأرضية في بعض أجزاء السد أو المنحدر  
قد تبلغ من الشدة بحيث ينخفض معامل الامان في تلك الأجزاء الى أقل من ( واحد ) • ولكن للحظرات  
قصيرة تحصل خلالها ازاحات دائمية الا انها تتوقف حال توقف التعجيل المؤثر أو تغير اتجاهه • ويكون  
التأثير التراكمي لسلسلة ازاحات هذه ، ازاحة تراكمية لقطع من مقاطع السد • ولن تحصل أية ازاحة  
إضافية للسهم الا اذا ما كانت الازاحة الكلية أكثر من الازاحة التي يمكن للقطع تحمله في حالة السكون  
• حيث يتتابع الفشل بانزلاق أو تميع ذلك الجزء ، ومن ثم الأجزاء الاخرى •

لذا نرى بأن مقدار الازاحة الناتجة عن الهزة الأرضية تعتمد على التغير الزمني لقوى القصور  
الذاتي • وان الطريقة المنطقية في التحليل تقتضي ما يلي : —



شكل (٢٥) علاقة (الجهد - المطاوعة) تحت تأثير النبض والتناوب بالجهد

- معرفة التغير الزمني للمجمل وبالتالي إيجاد التغير الزمني للاجهادات الناتجة من حركة أرضية معينة توفر في قاعدة السد \*
- تعرض نماذج من التربة في المختبر لنفس تتابع الأجهادات وقيمتها والتي تم إيجادها من الخطوة السابقة • ودراسة خواص مادة هذه النماذج وقاومتها تحت هذا الشكل من أشكال التحميل \*
- تخمين الازاحات المتوقعة في السد نتيجة لهذه القوى ، وذلك من نتائج الخطوتين السابقتين •
- لقد تمكن سيد ومارتن ( ١٩٦٦ ) ( Seed and Martin, 1966 ) باستعمال شرائح أفقية واعتماد قوى القص ( Shear Slice Analysis ) من إيجاد تغير التعجيلات وبالتالي الاجهادات الناتجة على طول سطوح الانزلاق المحتملة خلال الهزة الأرضية • وقد أمكن بواسطة التفاضل احتساب توزيع قوى القص الذاتي الموزعة في الفترات المختلفة من الهزة على كتل الانزلاق المحتملة المختلفة ، وبذلك أمكن بهذه الطريقة إيجاد تأثير الحركة الأرضية للهزة كدالة للتغير الزمني للتعجيل في الاجزاء المختلفة من السد \*
- ان التطور الكبير في أسلوب التحليل الديناميكي قد جاء نتيجة لاستعمال طريقة القطع المحددة ( Finite Elements ) ، حيث طبقت لأول مرة من قبل كلوف وجوبرا ( ١٩٦٦ ) ، ( Clough and Chopra, 1966 ) في هذه الطريقة يمكن تصور السد وكأنه مكون من شبكة مترابطة من القطع المحددة المرتبطة مع بعضها البعض في عقد ( Nodes ) كما في شكل ( ٣٦ ) • ويمكن دراسة تغيرات خواص السد والاجهادات فيه والازاحات بدراسة ما يحدث في هذه العقد وكما ستقوم بشرحه • نلاحظ في هذه الطريقة ما يلي : —
- تسمح هذه الطريقة ببيان كيفية نشوء وتطور قوى القص والاضغاط والشد كافة خلال الاهتزاز
- إمكانية أخذ تأثير المركبتين الأفقية والعمودية للتعجيل بنظر الاعتبار •
- إمكانية دراسة أي مقطع كان من السد بهذه الطريقة إضافة إلى إمكانية دراسة منظومة ( السد والاساس ) معا •
- يمكن لهذه الطريقة ان تعطينا التغير الزمني الكامل للازاحات والسرعات والتعجيلات والمطاوعة والاجهادات في كافة العقد من الشبكة • وكلما كانت الشبكة ذات قطع أصغر كلما كان عدد العقد أكبر ، وبذلك يمكن معرفة قيمة المتغيرات في عدد أكبر من النقاط في جسم السد • فـ



شكل (٣٦) شبكة القطع المحددة لقطع مسد •



المناطق ذات الأهمية الخاصة من جسم السد يمكن تكثيف عدد القطع والحصول على صورة أدق من هذه المعلومات •

— ان هذه الطريقة تعطينا الاجهادات والازاحات الحقيقية في السد وليس معامل امتسان كعدد مجرد قد لا يعني شيئا في ضوء ما يمكن لعواد السد من تحمله عن اجهادات وازاحات •

٣٠٦ التحليل الديناميكي ( خواص المواد ) (Dynamic Analysis-Material Properties)

في استعمال طريقة القطع المحددة يتم تمثيل الواقع الفيزيائي للسد وأساسه والقوى المؤثرة عليه بنموذج رياضي • ونتيجة حل هذا النموذج يتم ايجاد المتغيرات التي أسلفنا ذكرها •

ولا بد من تعريف المعلومات الداخلة بهذا النموذج (Input) بواسطة معادلات رياضية خاصة • ومن هذه المعلومات خواص العواد البدائية (الستاتيكية) • وكذلك خواص العواد الديناميكية (وكيفية تأثرها بالهزة) وسوف نتطبع فيما يلي شرح هذه الأمور •

خواص العواد البدائية (الستاتيكية) (Static Properties)

لا بد لنا في بداية التحليل من أخذ السد قبل تعرضه للهزة الأرضية ودراسة الخواص البدائية للعواد المكونة له وتغير هذه الخواص خلال فترة الانشاء وعند امتلاء الخزائن •

أما الخواص ذات العلاقة فهي : الكثافة الابتدائية ( $\rho_0$ ) ، نسبة الفراغات الابتدائية (Initial Void Ratio  $e_0$ ) ، معامل المرونة الستاتيكي (E) إضافة الى نسبة بوسون الستاتيكية ( $\nu$ ) وتقاس هذه القيم عادة موقعيا خلال فرش وحدل التربة في فترة الانشاء ويمكن اعتمادها للسدود المعاطة تحت الدراسة •

ولقد جرت العديد من الدراسات على سدود أثناء فترة الانشاء • حيث تم قياس الهبوط (Settlement) وتم ربط ذلك بزيادة الاحمال المضافة خلال فترة الانشاء •

فقد أوجد ماتسوي (1973) (Matsui, 1973) العلاقة بين الاجهاد العمودي ومطابقة الهبوط (Settlement Strain) عن طريق القياس الفعلي في العديد من السدود تحت الانشاء إضافة الى نتائج الفحوصات المختبرية في فحوصات الانضغاط الثلاثي • وقد وجد بأن قيمة (E) و ( $\nu$ ) تخضعان للمعادلتين العامين التاليين :

$$E = A \cdot \sigma_y^B \quad \dots (57)$$

$$\gamma = C + \frac{F}{\sigma_y + D} \quad \dots(58)$$

حيث أن :

$$\sigma_y =$$

الاجهاد العمودي

$$A, B, C, D, F =$$

معاملات ثابتة

ان قيم المعاملات الثابتة وبموجب الحالات العديدة التي درسها ماتسوى مدرجة في

جدول (١٥) •

جدول رقم (١٥) خواص المواد الهوائية

المتغير الستاتيكي	E (kg/cm <sup>2</sup> )		λ			ρ <sub>o</sub>	e <sub>o</sub>	c	φ
	A	B	C	D	F	g/cm <sup>3</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	degree
القشرة الحصوية	190	0.131	0.30	0.943	0.075	2.0	0.35	0.45	41.5
المرشحات	205	0.213	0.34	0.825	0.074	1.9	0.37	1.25	38.4
اللب	218	0.312	0.37	0.669	0.073	1.9	0.39	1.30	38.9

من المعادلتين أعلاه ومن القيم المبينة في الجدول • نرى ان بالامكان ايجاد معامل المرونة  
واسية بوسون في أى مستوى من المعد • كما يبدو واضحاً ان هاتين الخاصيتين تتغيران حسب المنسوب  
نتيجة لتغير الاجهاد العمودي •

(Dynamic Properties)

خواص المواد الديناميكية

ان الخواص التي تهم البحث في الوضعية الديناميكية ثلاثة وهي : معامل المرونة الديناميكي  
واسية بوسون الديناميكية (E) اضافة الى معامل الاخمد (λ) • وقد أمكن ايجاد العلاقة  
الرياضية المعقدة لمعامل المرونة باستعمال طرق المسح الزلزالي لسدود مفعلة • حيث تكمن

ساوادا ( ١٩٧٥ ) ( Sawada, 1975 ) ومن المصحح الزلزالي للعديد من السدود المغطاة في  
اليابان من ايجاد العلاقة بين توزيع سرعة العوجة المستعرضة وعق النقاط داخل جسم السد . كما  
وجد بأن نسبة الاجهاد من الرئيسين  $(\sigma_1 / \sigma_2)$  (Principal Stresses) لهذه السدود  
ثابتة تقريباً وتتراوح بين ( ٢ ) و ( ٥ ) . وقد اقترح بأن تكون القيمة في المعدل ( ٣ ) . كما وجد  
هارادا ( ١٩٧٧ ) ( Harada, 1977 ) بأن ثقل عمود التربة في اللب لا يظهر بصورة كاملة كضغط  
والما حوالي ( ٧٠ % ) منه فقط يظهر كضغط . ومن ثم كأجهاد  $(\sigma_1)$  ويهبط كافة هذه الامور معاً  
ونتيجة لغوص التحميل الثلاثية الديناميكية فقد تم ايجاد العلاقتين التاليتين :

$$E = J \frac{(2.97 - e)^2}{1 + e} \frac{K}{K + \rho} (\sigma'_m)^L \quad \dots(59)$$

$$E_t = J \frac{(2.97 - e)^2}{1 + e} \left( \frac{K}{K + \rho} \right)^2 (\sigma'_m)^L \quad \dots(60)$$

حيث أن :

$E =$	معامل المرونة الديناميكي ( الانضغاط )
$E_t =$	معامل المرونة الديناميكي ( القص )
$J, K, L =$	معاملات ثابتة
$e =$	نسبة الفراغات (Void Ratio)
$\rho =$	الكثافة
$\sigma'_m =$	الاجهاد الموتر ويساوي $(\sigma_1 - \sigma_2)$

أما نسبة بوسون فقد وجدت بأنها تتبع العلاقة التالية :

$$\gamma = (M - N) Z^P \quad \dots(61)$$

حيث أن :

$M, N, P =$	عوامل ثابتة
$Z =$	العمق من قمة السد

أما معامل الاختلاف فقد وجد بأنه يتبع العلاقة التالية :

$$\lambda = Q \cdot \frac{\rho}{K + \rho} + R$$

... (62)

حيث أن :

معامل ثابت سبق تعريفه —————  
 الكثافة وقد سبق تعريفه —————  
 معاملات ثابتة —————  
 $K =$   
 $\rho =$   
 $Q, R =$

وندرج في الجدول رقم ( ١٦ ) قيم الثوابت التي اشرنا اليها في المعادلات ( 59 و 60 و 61 و 62 ) كما تم اعتمادها لعدد من السدود .

جدول رقم ( ١٦ ) خواص المواد الديناميكية

المتغيرات الديناميكية	معاملات المرونة (E) kg/cm <sup>2</sup>				نسبة بوسون ( ν )		معامل الاختلاف ( λ )	
	J	K	L	M	N	P	Q	R
الأساس	395	1.33x10 <sup>-4</sup>	0.69	0.45	0.006	0.60	0.23	0.15
المرشحات	326	5.00x10 <sup>-4</sup>	0.55	0.45	0.006	0.60	0.30	0.15
المقدم القشرة الحجرية	440	1.56x10 <sup>-4</sup>	0.5	0.49	0.01	0.55	0.23	0.15
الوعاء				0.375	0.006			

٢٠٧ التحليل الديناميكي ( نمذجة الحركة الاهتزازية )

(Dynamic Analysis - Ground Motion Modelling)

لا تخطئ النمذجة هنا عن النمذجة في حالة استعمال طريقة التحليل ( اللزج - المرن ) فهي  
 الأسلوب شبه الاستاتيكي . ويتم عادة اعتماد نوعين من الهزات كنموذجين لمعرفة تأثير  
 السد بها . الهزة الاولى ذات تعجيل أقل الا انها ذات فترة تذبذب أطول . أما الثانية فهي  
 ذات تعجيل أكبر وفترة أقصر .

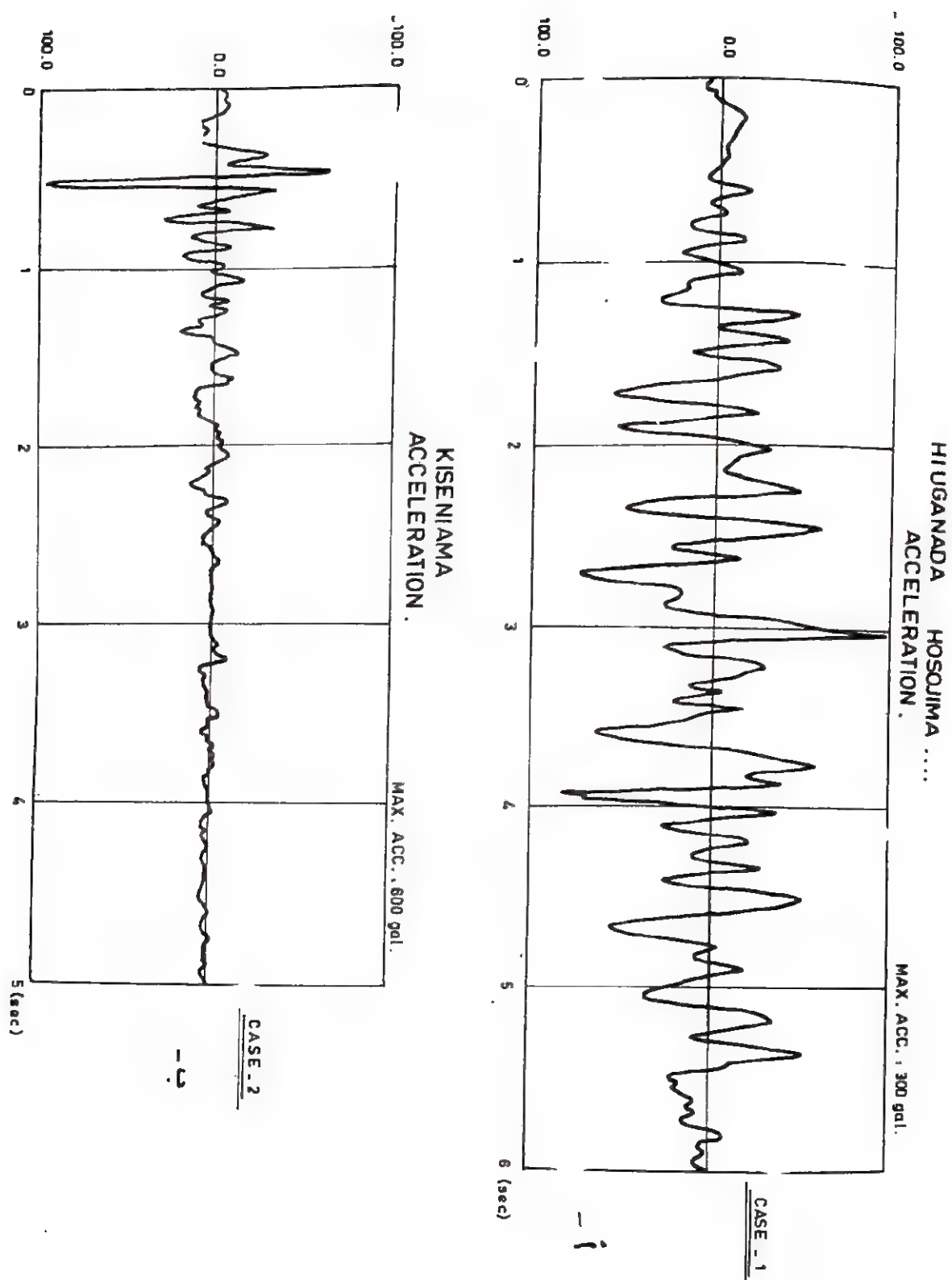
ويمكن اختيار هذه النماذج من الهزات العديدة المسجلة والمدرسة دراسة جيدة والتي سبق وان ذكرنا البعض منها • ونورد على سبيل المثال هزتين أرضية تمثلان هذين الشكلين من الهزات وقد تم استعمالهما فعلا في دراسة أحد السدود العراقية وهما هزة هوكاندا - هوسوجيما (1978) للحالة الاولى ، وهزة كايسينا ياما - سلاهي (1974) للحالة الثانية • ونورد في الجدول رقم ( ١٧ ) خواصيهما • كما يبين الشكل ( ٣٧ ) ، ( ٣٨ ب ) اليزوموغرام المسجل لكل منهما

جدول رقم ( ١٧ ) خواص الهزات النموذجية المستخدمة في التحليل الديناميكي

اسم الهزة	مدة الهزة (sec)	فترة التكرار (sec)	التسجيل الأقصى ( المركبتان الافقيتان ) المركبة الاولى	المركبة الثانية	نوع الهزة
هوكاندا ، هوسوجيما	6	0.375	100 gal	300 gal	هزة كبيرة
كايسينا ياما - سلاهي	6	0.125	400 gal	600 gal	هزة موضعية

ما تقدم يمكننا أن نوجز بأن أسلوب التحليل الديناميكي أسلوب دقيق ويعطينا نتائج جيدة للازاحسات والاجهادات المخططة في جسم السد وهو لهذا السبب فيجد جدا عند أعداد التصميم التفصيلية ، ولذا فيمكن اعتماد الأسلوب شبه الاستاتيكي في مرحلة التصميم الاولى للسدود لتحديد الشكل العام للسد ومنحدراته والسداد الاضافية المطلوبة (Toe Weights) على أن تدقق كل هذه الامور في المرحلة التالية ، أي مرحلة التصميم التفصيلية بواسطة التحليل الديناميكي •





شكل ( ٢٧ ) نماذج الهزات الأرضية لتصميم السدود بأسلوب التحليل الديناميكي •

Glossary

المصطلحات

A

Acceleration Spectrum

Aftershocks

Alluvium

Amplitude

Attenuation

Azimuth

طيف التعجيل

هزات ثانوية لاحقة

رسميات

سعة

توجيه

زاوية السم

B

Body waves

Boundary Curve

الموجات الهابطية

منحني حدودي

C

Coefficient of Truncation

Cohesion of soil

Compaction

Compacted Fill

Compression

Compression Mode

Crack

Cycle

Cyclic Triaxial Loading Test

معامل الشكل

تعاكس وتلاصق جزيئات التربة

رص

دفن مرسوم

انضغاط

طرق الانضغاط

شق ، صدع

دورة

فحص التحميل الثلاثي المتكرر

D

Dam Crest

Damper

Damping Coefficient

Design Earthquake (DE)

Deterministic Procedure

Deviation

مامة السد

كبح ، خامد

معامل الكبح أو الاخماد

الهزة القصية

الاسلوب الحتمي

انحراف

Differential	تفاضلي
Displacement	ازاحة
Downstream Slope	المتحدر الخلفي
Drainage	صرف، انجاء
Dynamic Stability	الاستقرارية الديناميكية

## E

Elastic	مروني
Elastic Limit	حد المرونة
Elastic Spring	نابض مروني
Elasticity	مرونة
Elastic-Plastic	مروني - لدني
Element	قطعة
Emergency Spillway	مسيل الطوارئ
Epicenter	بؤرة الزلزال السطحية
Erosion	تآكل
Exponential Frequency Distribution	توزيع التكرارات الأسّي

## F

Fault	فالق
Finite Elements	القطع المحددة
Flow Slide	انزلاق ، تدفق
Focal Distance	البعد البؤري
Focal Depth	العمق البؤري
Foreshocks	هزات ثانوية سابقة
Foothills	سفوح الجبال
Fourier Spectrum	طيف فوريير
Free Board	فضاء صافي
Frequency Distribution	توزيع التكرارات
Fundamental Mode	الطور الاساسي

G

Gal

وحدة قياس التسجيل وتساوي ( ١ سم / ثا<sup>٢</sup> )

H

Hydraulic Core

لب هايدروليكي

Hydraulic Fill

دفن هايدروليكي ( مغطى بطريقة الجوف الهيدروليكي )

I

Independent

مستقل

Inertia

القصور الذاتي

Inertia Force

قوة القصور الذاتي

Input Data

المعلومات الداخلة

Intensity

شدة

Investigation Pit

حفرة تحريات

L

Liquefaction

تسيح

Log-Normal Distribution

توزيع التكرارات اللوغاريتمي - الخطي

M

Magnitude

مقدار الزلزال

Maximum Annual Flood

الفيضان الأقصى السنوي

Maximum Credible Earthquake (MCE)

الزهة القصوى الممكنة

Maximum Probable Flood (PMF)

الفيضان الأقصى المحتمل

Maximization

تعظيم

Modulus of Rigidity

معامل الجسور

Model

نموذج

Multi Degrees of Freedom

عدة درجات من الحرية

N

Natural Saddle	سرج طبيعي ( موقع من الارض الفاصل بين منخفضين متجاورين )
Node	عقدة
Normal Distribution	توزيع التكرارات الخطي

O

One Dimensional Vibration	الامتراز الاحادي الاتجاه
One Degree of Freedom	درجة واحدة من الحرية
Overtopping	ظفح المياه

P

Pseudo-Static	شبه ستاتيكي
Piping	تاكل بسبب الرش
Poisson Model	نموذج بوسون
Point Process	عملية نقطية
Point Source	مصدر نقطي
Pore Pressure	الضغط المسامي
Pore Water	ماء مسامي
Probability	احتمال
Probability of Exceedence	احتمال التجاوز
Probability Cumulative Distribution	توزيع تكرارات الاحتمالات التراكمي
Probabilistic Procedure	الاسلوب الاحتمالي
Primary Waves (P-Waves)	الموجات الأولية
Pulsation	نبض

R

Radiation	اشعاع
Regional Seismicity	الزلازلية الاقليمية
Relative Density	الكثافة النسبية
Response	تجاوب أو استجابة
Response Time	زمن التجاوب



Return Period

فترة التكرار

Reversal

تناوب

Rigid

جامد

## S

Saturation

تشبع

Scale

قياس

Secondary Waves (S-Waves)

العوجات الثانوية

Seismic

زلزالي

Seismic Activity

فعالية زلزالية

Seismic Coefficient

المعامل الزلزالي

Seismic Probability Map

خريطة الاحتمالات الزلزالية

Seismic Risk

الخطورة الزلزالية

Seismic Spectrum

الطيف الزلزالي

Seismic Moment

العزم الزلزالي

Seismic Wave

الموجة الزلزالية

Seismogram

السجل الزلزالي

Seismograph

جهاز رصد وتسجيل الزلازل

Seismotectonic Regions

المناطق التكتونية الزلزالية

Self-Healing

اندمال ذاتي

Semi-log

نصف لوغاريتمي

Sensitive Clay

طين حساس

Settlement

هبوط

Shaking

ارتجاج و اهتزاز

Shear

قص

Shear Mode

طور القص

Sinusoidal

جيبى

Slumping

ترومل

Space Series

دالة حيزية

Standard Deviation

الانحراف المعياري

Strain

اجهاد

Stress

جهد

Surface Waves

الوجبات السطحية

## T

Tangential Stress

جهد مماس

Tailing Dams

السدود المستعطة لأفراض التعدين أو المخلفات المعدنية  
السدسة نتيجة لعطيات التعدين

Time Series

متوالية أو سلسلة زمنية

Toe Berms

الصداد الإضافية قدم ومؤخر السد

## U

Undamped Frequency

التردد الحو

Uniform Grading

تدرج منظم

Upstream Slope

المنحدر الأمامي

## V

Viscos Damper

خامد لزج

Visco-Elastic

لزج - مرن

Void Ratio

نسبة الفراغات

## Y

Yield (n)

حصيلة انسياع

Yield (v)

انسياع

REFERENCES CITED

المصادر المستعملة

- Aki, K., 1965. Maximum likelihood estimate of 'b' in the formula:  
 $\log N = a - bM$  and its confidence limits, Bull. Earthq. Res. Inst.,  
Tokyo Univ., 43, 237-239.
- Al-Abbasi, J.N., 1984. Extreme value statistics with application to  
earthquake risk estimation in Iraq, MSc Thesis Dept. of Statistics  
Baghdad University, Baghdad.
- Al-Abbasi, J.N., and Fahmi, K.J., 1985. Estimating maximum magnitude  
earthquakes in Iraq using extreme value statistics. Geophy. J.  
R. astr. Soc. (In press).
- Al-Sinawi, S. and Ghalib, H., 1975a. Historical seismicity of Iraq.  
Bull. Seism. Soc. Am., 65, 541-547.
- Al-Sinawi, S. and Ghalib, H., 1975b. The seismicity and seismotectonics  
of Iraq, Bull. Coll. Science, 16, Baghdad Univ. Press, Baghdad.
- Al-Sinawi, S., and Ghalib, H., 1975c. Seismic zoning of Iraq. Proc. 2nd  
SRF Conf. Baghdad.
- Al-Sinawi, S. and Al-Moosawi, H., 1980. Seismic zoning and other seismic  
parameters consideration for Iraq. Proc. 7WCEE, Istanbul,  
185-192.
- Anonymous, 1957. Standard specifications for structures in seismic  
regions. Hydrotechnical Project, SN-8-1957, Moscow.
- Ambraseys, N.N., 1960a. On the seismic behavior of earth dams. Proc.  
2WCEE, Tokyo, 331-358.
- Ambraseys, N.N., 1960b. The seismic stability of earth dams. Proc. 2WCEE,  
Tokyo, 1345-1364.
- Ambraseys, N.N., and Sarma, S.K., 1967. The response of earth dams to  
strong earthquakes, Geotechnique, 181-213.

# JOURNAL OF WATER RESOURCES

- Ambraseys, N.N., 1975. Ground motions in the near field of small magnitude earthquakes. Proc. CSNI, Europe, 113-136.
- Ambraseys, N.N., 1978. A reappraisal of the seismicity of the Middle East. Quart. Eng. Geo., 19-32.
- Chandra, U., McWhorter, J.G., and Nowroozi, A.A., 1979. Attenuation of intensities in Iran, Bull. Seism. Soc. Am., 237-250.
- Clough, R.W. and Chopra, A.K., 1966. Earthquake stress analysis in earth dams. ASCE (EM2), 197-212.
- Donovan, N.C., 1973. A statistical evaluation of strong motion data including the February 9, 1971 San Fernando earthquake. SWCEE, Rome, 1252-1261.
- Donovan, N.C., and Bornstein, A.E., 1978. Uncertainties in seismic risk procedures. ASCE (GT7), 869-887.
- Ergin, K., 1969. Observed intensity-epicentral distance relations in earthquakes. Bull. Seis. Soc. Am., 1227-1238.
- Esteva, L., and Rosenblueth, E., 1964. Espectros de temblores a distancias moderadas y grandes. Bol. Soc. Mex. Ing. Sismica, 1-18.
- Esteva, L., 1967. Criteria for the construction of spectra for seismic design. Third Pan American Symp. on Structures, Venezuela.
- Esteva, L., 1974. Geology and predictability in the assessment of seismic risk. Proc. 2nd. Int. Conf. Assoc. Eng. Geologists, Sao Paulo, Brazil.
- Fahmi, K.J., 1982. Practical considerations for the implementation and development of the Iraqi Seismological Network project, SRC/ERC Pub. SR1/82, 77 pp.
- Fahmi, K.J., 1984. Preliminary estimation of earthquake risk in Iraq. SWCEE, San Francisco, 141-148.



## JOURNAL OF WATER RESOURCES

- Gumbel, E., 1958. Statistics of Extremes, Columbia Univ. Press, Palisades N.Y.
- Gutenberg, B., and Richter, C.F., 1954. Seismicity of the Earth and Associated Phenomena, Princeton Univ. Press, N.J.
- Harada, , 1977. In Baba, K. (1981), "Earthquake engineering on dams". Publication of Electric Power Development Co. Ltd.
- Hatanaka, M., 1952. Three dimensional consideration on the vibration of earth dams, Jour. JSCE, vol. 37, No. 10.
- Housner, G.W., 1959. Behavior of structures during earthquakes. ASCE (EM4), 109-129.
- Ishimoto, M., and Iida, K., 1939. Earthquake observation by microseismograph, Bull. ERI, vol. 17.
- Kawakami, F., 1954. Earth Dams. (In Japanese). Publication of Kashima Construction Research Institute.
- Kawasumi, H., 1943. Seismic intensity and seismic intensity scale (in Japanese), Zisin, Vol. 15.
- Lomnitz, C., 1974. Global Tectonics and Earthquake Risk, Elsevier Co. Amsterdam.
- Mahmood, D.S. and Al-Ridha, N., 1984. Seismic design parameters for northern Iraq applying probabilistic methods. J. Water Resources, Vol. 2, No. 3.
- Marshall, P., 1970. Aspects of spectral differences between earthquakes and underground explosions. Geophys. J. R. astro. Soc., 397-416.
- Matsui, , 1973. In Baba, K. (1981), "Earthquake engineering on dams". Publication of Electric Power Development Co. Ltd.
- McGuire, R.K., 1974. Seismic structural response risk analysis incorporating peak response regressions on earthquake magnitude and distance MIT Rep. 74-81, Cambridge, Massachusetts.

## JOURNAL OF WATER RESOURCES

- Milne, W.A., and Davenport, A.G., 1969. Distribution of earthquake risk in Canada, Bull. Seism. Soc. Am., 729-754.
- Mononobe, N., Takada, A., and Matsumura, M., 1936. Seismic stability of the earth dam. Trans. of II-ICOLD.
- Okamoto, S., 1973. Introduction to Earthquake Engineering, Tokyo Univ. Press. Tokyo.
- Puttonen, J., and Varpasuo, P., 1982. Seismic risk analysis for northern Iraq. Earthq. Eng. Struct. Dyn., 605-614.
- Sawada, , 1975. In Baba, K., (1981), "Earthquake engineering on dams. Publication of Electric Power Development Co. Ltd.
- Seed, H.B. and Lee, K.L., 1966. Liquefaction of saturated sand during cyclic loading, Proc. ASCE (SM6), Vol. 92.
- Seed, H.B. and Martin, G.R., 1966. Seismic coefficient in earth dam design. Proc. ASCE (SM3), Vol. 92.
- Tosic, M.B., 1980. Seismic risk studies for large dam projects in northern Iraq. Proc. Conf. Inst. Civil Eng. London, 23-30.
- Trifunac, M., and Brady, A.G., 1975. On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of recorded ground motion, Bull. Seism. Soc. Am., 139-162.
- Utsu, T., 1966. A statistical significance test of the difference in "b" value between two earthquake groups, J. Phys. Earth., 37-40.



MINISTRY OF IRRIGATION  
JOURNAL OF WATER RESOURCES

EARTHQUAKES AND THEIR EFFECT  
ON EMBANKMENT DAMS



NASRAT N. ADAMO

SPECIAL PUBLICATION No.1, 1985